

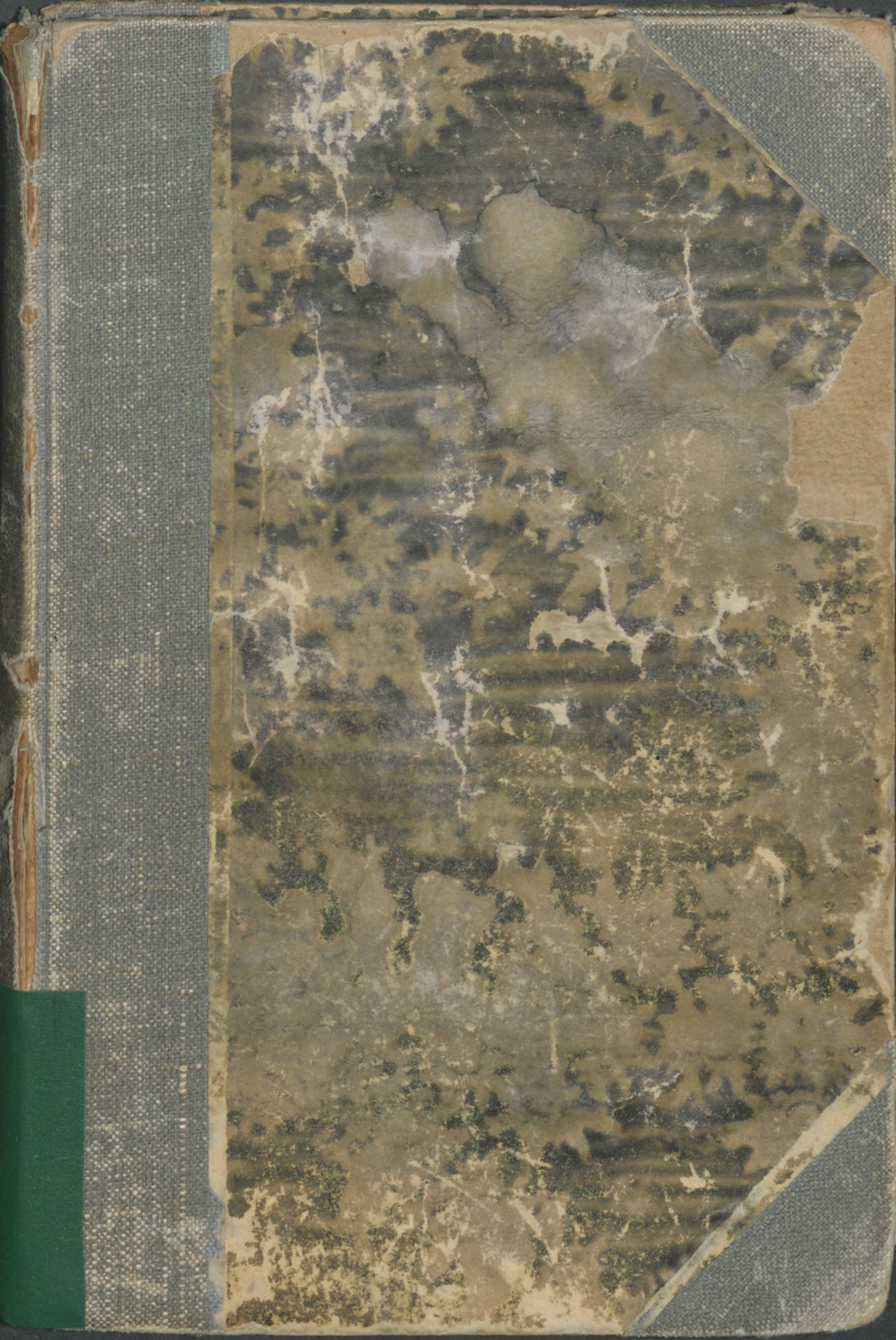
Denne fil er downloadet fra
Danmarks Tekniske Kulturarv
www.tekniskkulturarv.dk

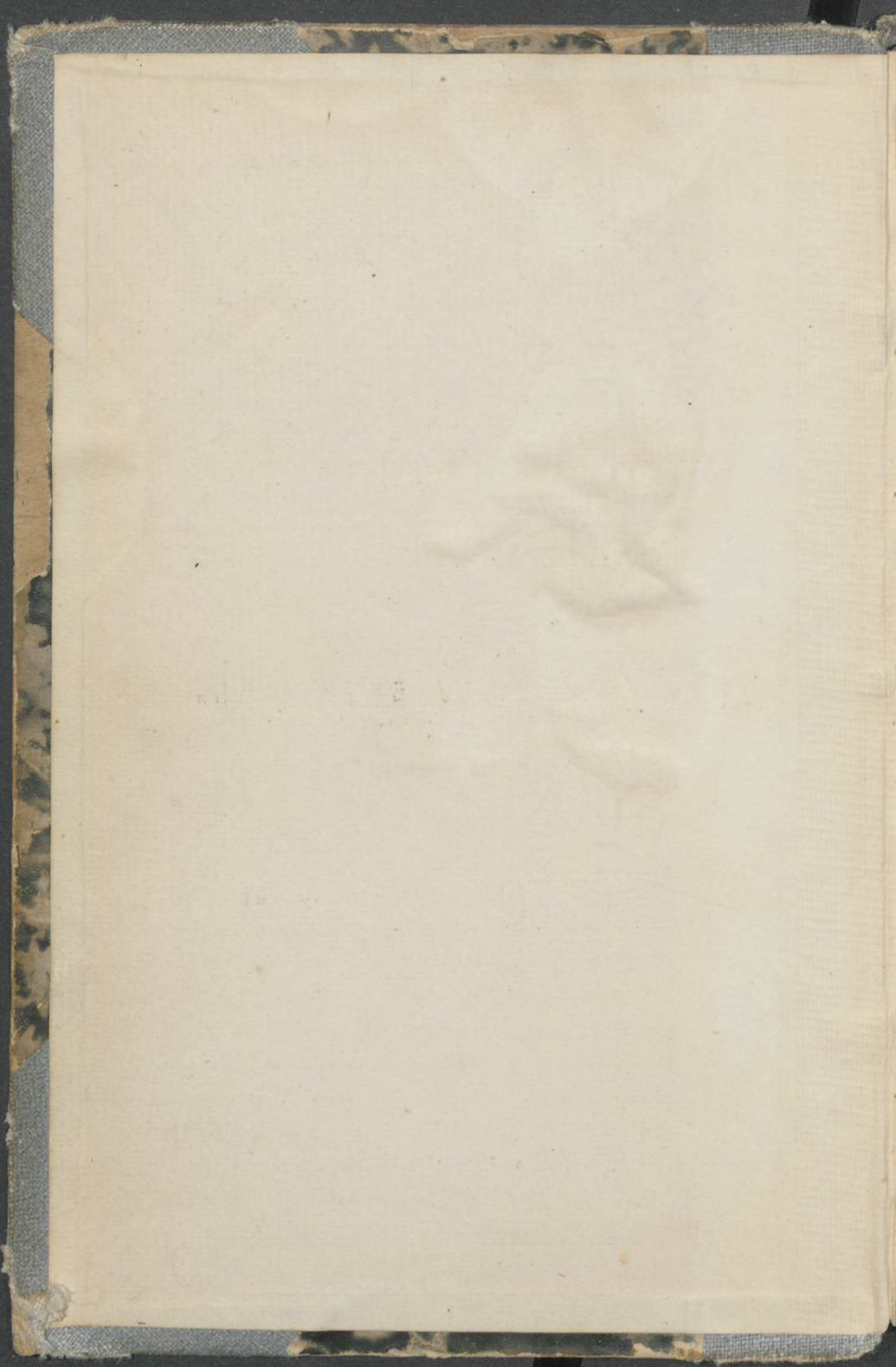
Danmarks Tekniske Kulturarv drives af DTU Bibliotek og indeholder scannede bøger og fotografier fra bibliotekets historiske samling.

Rettigheder

Du kan læse mere om, hvordan du må bruge filen, på
www.tekniskkulturarv.dk/about

Er du i tvivl om brug af værker, bøger, fotografier og tekster fra siden, er du velkommen til at sende en mail til *tekniskkulturarv@dtu.dk*





TEKNISK BIBLIOTEK

DANMARKS TEKNISKE BIBLIOTEK

220301

300009020016



TB Gl.

530 Hol

DANMARKS
TEKNISKE BIBLIOTEK

HELGE HOLST

VORT
FYSISKE VERDENSBILLEDE
OG
EINSTEINS
RELATIVITETSTEORI

1920

T

GYLDENDALSKE BOGHANDEL
KJØBENHAVN OG KRISTIANIA
MDCCCCXX

VORT
FYSISKE VERDENSBILLEDE
OG
EINSTEINS
RELATIVITETSTEORI

HELGE HOLST

ELEKTRICITETEN. (1906). 2. Udg. 1910-11.
LUFTENS EROBRING. 1909.

MENNESKEAANDENS SEJRE. Opfindel-
sernes Historie i Omrids. Af *Poul la*
Cour og *Helge Holst*. 1904.

OPFINDELSERNES BOG. I—IV. Ved
André Lütken og *Helge Holst*. 1912-14.

OPFINDERNES LIV. 1914. Ved *Helge*
Holst.

HELGE HOLST

VORT
FYSISKE VERDENSBILLEDE
OG
EINSTEINS
RELATIVITETSTEORI

GYLDENDALSKE BOGHANDEL - NORDISK
FORLAG - KJØBENHAVN OG KRISTIANIA
MDCCCCXX

COPYRIGHT 1920 BY GYLDENDALSKE BOGHANDEL
NORDISK FORLAG

OPLAG 1300 EKSEMPLARER

GYLDENDALS FORLAGSTRYKKERI
KØBENHAVN

EN Del af Indholdet af denne lille Bog har tidligere været trykt i „Tilskueren“ (Nov. og Dec. 1919) under Titlen „Vort fysiske Verdensbillede i ny Belysning“. Det var i Hovedsagen en almenfattelig Fremstilling af Synspunkter, Forfatteren i mere videnskabelig Form havde udviklet i en Afhandling „Die kausale Relativitätsforderung und Einsteins Relativitätstheorie“, der var udgivet af „Videnskabernes Selskab“. Netop da Tilskuerartiklen fremkom, blev der vakt en stor og udbredt Interesse for Einsteins Relativitetsteori, og dette gav Anledning til, at der fra flere Sider blev udtalt Ønske om et Særtryk af Artiklen. Jeg har imidlertid foretrukket at ændre og udvide den stærkt, hvorved det blev muligt at gaa nærmere ind paa de Einstein'ske Synsmaader og paa de Udsagn om Tiden som fjerde Dimension, om Brud paa den almindelige, „euklidiske“ Geometris Regler m. m., som i manges Øjne har omgivet den nye Lære med et Skær af Mystik.

Der er i Fremstillingen ikke forudsat fysiske og matematiske Kundskaber — i alt Fald ikke udover de elementære Skolekundskaber — og i det hele taget er det tilstræbt at give den en saa letfattelig Form som muligt; men det maa erindres, at det drejer sig om vanskelige og dybtgaaende Problemer, og det kan derfor ikke være andet end, at Til-

egnelsen kræver et Tankearbejde. Selv om nu Vanskelighederne ved at opnaa fuld Forstaaelse hist og her skulde forekomme en Del af Læserne for store, haaber jeg, at Læsningen dog i det hele og store vil bidrage til at klare deres Syn paa Sagen. I mange Tilfælde vil sikkert ogsaa Punkter, som straks synes dunkle, klare sig ved en fornyet Gennemlæsning.

HELGE HOLST

INDHOLD

	Side
Indledning	9
I Grækernes og Newtons Verdensbillede	12
II Æterteoriens Verdensbillede og dets Opløsning	22
III Det relativistiske Verdensbillede	43
IV Einsteins oprindelige Relativitetsteori og vor Rum- og Tids- opfattelse	54
V Einsteins almene Relativitetsteori og den euklidiske Geo- metri.	77
VI Er Verden endelig eller uendelig?	93

INDLEDNING

DE sidste 15 Aar har for Fysikken været, hvad man kunde kalde en Krisetid. Allerede adskilligt tidligere var det blevet klart, at baade den af Newton opstillede Lære om Kraft og Bevægelse og den i det 19. Aarhundrede udviklede Æterlære led af alvorlige Svagheder i selve Fundamenterne; men nye Synspunkter overfor de fysiske Grundproblemer trængte sig først frem med Kraft, da Fysikeren Albert Einstein (født i Schweiz, nu Professor i Berlin) i Aaret 1905 fremsatte sin saakaldte Relativitetsteori.

Denne Teori aabnede ikke blot nye og store Perspektiver for den fysiske Forskning; men den syntes tillige at staa i Modstrid med de Principper, denne hidtil havde fulgt, og at medføre en Revolutionering af vore hidtidige Forestillinger om Rum og Tid — en Omvæltning, som Matematikeren H. Minkowski har givet Udtryk i de stærke Ord: „Fra nu af synker Rummet og Tiden betragtede hver for sig ned til Skygger, og kun en Slags Forening af begge bevarer Selvstændighed“. Einsteins Teori blev ikke des mindre grebet med Begejstring af talrige Fysikere; men den mødte paa den anden Side stærk Modstand hos mange andre, der fandt, at Einstein var slaaet ind paa vilde Veje. De fleste stillede sig vel nærmest afventende med en Følelse af Ubehag ved den Forvirring, der var bragt ind i den fysiske Forskning, men med Haab om, at der skulde komme noget godt og værdifuldt ud af det nye, naar Krisen var overstaaet.

Forsaavidt vi kun betragter den reale fysiske Side af Einsteins Teori, der i de forløbne Aar har gennemgaaet en mægtig Udvikling, kan det vel nu siges, at den har sejret. Einsteins mærkelige, fra alle tidligere afvigende Metoder for Behandlingen af fysiske Problemer har vist sig overordentlig frugtbare. De har ført til højst betydningsfulde Slutninger angaaende mange fysiske Forhold, og Einstein har ved dem udført den Stordaad at opstille nye almene Bevægelseslove langt mere omfattende end de Newton'ske. Disse kan betragtes som tilnærmede Udtryk for de Einstein'ske, der kan gøre Rede for langt finere Enkeltheder ved den fysiske Virksomhed; men Tilnærmelsen er rigtignok baade i den jordiske Fysik og i Astronomien i Almindelighed saa stor, at vi kun i ganske særlige Tilfælde har Mulighed for at opdage de Afvigelser fra dem, som Einsteins Love kræver.

Et saadant Tilfælde har vi ved Planeten Merkurs Bevægelse om Solen. Astronomerne har forlængst erkendt, at Merkurbanens Storakse, d. v. s. Linien gennem Solen og de to Punkter, hvor Planeten er Solen henholdsvis nærmest og fjernest, udfører en efter Newtons Love uforklarlig Drejning paa ca. 45 Buesekunder i 100 Aar, hvad der vilde svare til en hel Omdrejning i henved 3 Millioner Aar. Denne Drejning viste Einsteins Love sig at forklare paa ganske utvungen Maade, og dette var en stor Triumf for den udvidede eller almene Relativitetsteori, Einstein havde fuldført i 1914—16. Det kunde dog tænkes, at det herved drejede sig om et tilfældigt Sammentræf, og Fysikerne afventede derfor med stor Spænding anden Bekræftelse af Teorien. Det fulgte af denne, at Lysstraaler, der passerede tæt forbi Solen, skulde lide en Krumning af ganske bestemt Størrelse, og skønt den kun var meget lille (1,7 Buesekund), maatte det dog kunne paavises, at de Fiksstjerner, der under en total Solformørkelse fremtræder tæt ved Solranden, ikke indtager deres normale Pladser paa Fiksstjernehimlen, men fin-

des lidt forskudt i Retning udad fra Solranden. Ved Solformørkelsen den 29. Maj 1919 lykkedes det at faa taget flere gode Fotografier af Solens Omegn, og en Sammenligning med Fotografier, som senere blev taget af samme Egn af Stjernehimlen, viste Forskydninger, der stemte med Einsteins Teori, saa godt det kunde ventes efter Omstændighederne. — En anden Følge af Teorien er det, at de mørke Linier, som gennemskærer det Farvebaand eller Spektrum, hvortil Sollyset kan udbredes i et Spektroskop, skal være forskudt en Smule mod Spektrets røde Ende i Forhold til de tilsvarende Spektrallinier i Lyset fra jordiske Lyskilder. De Forsøg, der er gjort paa at paavise denne Spektralforskydning, har hidtil givet modstridende Resultater; men Undersøgelsen er saa vanskelig, at man ikke kan tillægge de opnaaede Resultater stor Vægt. Den Bekræftelse paa Einsteins Teori, som blev fundet ved Solformørkelsen, er imidlertid saa betydningsfuld, at de fleste Fysikere nu føler sig stærkt overbeviste om, at Einsteins Love er rigtige.

Dermed er det dog paa ingen Maade afgjort, at Einsteins Teori virkelig har den skæbnesvangre Indflydelse paa vor Rum- og Tidsopfattelse, som er omtalt i det foregaaende, og det er hovedsagelig denne mere filosofiske Side af Sagen, vi vil komme til at beskæftige os med i den følgende Fremstilling. Formaalet for denne er dog noget mere omfattende, idet vi tillige vil søge at give en Orientering over de Grundproblemer, hvorom disse Aars Brydninger har drejet sig, og at naa frem til et med den nye Viden stemmende Verdensbillede. Men det vil da ikke være hensigtsmæssigt at begynde med at følge Einstein ad hans mærkelige Veje; thi derved vilde Læseren straks føres ind i en Række forvirrende Vanskeligheder, hvorved Sagens Kerne let kunde tilsløres. I Stedet for vil vi anlægge saa naturlige og ligefremme Betragtninger som muligt overfor Problemerne og saa bagefter betragte de særlige Einstein'ske Synsmaader mere udefra.

I. GRÆKERNES OG NEWTONS VERDENSBILLEDE

DE ældste Kulturfolk, Kaldæerne og Ægypterne, skændede Eftertiden en værdifuld, paa tusindaarige Iagttagelser grundet Viden om Himmellegemernes Gang; men deres Spekulationer over Naturen gav intet Bidrag til en virkelig Forstaaelse af Naturkræfternes Virken, og deres Forestillinger om Verdens Bygning var blot fantasifulde Udformninger af de umiddelbare Sanseindtryk, i Følge hvilke Himlen var Loftet, Jorden Gulvet i Verdensaltet.

Grækerne naaede langt ud over dette primitive Standpunkt, og det græske Verdensbillede, som for Eftertiden er knyttet til Aristoteles' og Ptolemæus' Navne, blev gennem et Par Aartusinder staaende som det højeste Syn paa Verdensbygningen, Mennesketanken havde hævet sig til. Det afgørende Fremskridt i dette Verdensbillede maa søges deri, at Retningen Op og Ned efter Lodlinien ikke som i de ældre Verdensbilleder var en enkelt Retning, en „absolut“ Retning i Rummet, men noget relativt, forskelligt for hvert Sted, idet den var Linien gennem Stedet og Jordkuglens Centrum. Men medens Begrebet Op og Ned i denne Henseende „relativeredes“ og frigjordes fra det umiddelbare Sanseindtryks Magt, bevarede det i anden Henseende sin absolute Verdensbetydning. Thi Jordcentret var tillige Centrum i det hele af Fiksstjernehimlens mægtige Kugleskal, Fiksstjernesfæren, begrænsede Univers, og Lodlinien var saaledes ikke blot en

Jordradius, men ogsaa en Verdensradius gennem Iagttagelsesstedet. En af Diametrene i Jordkuglen var Verdens Akse, om hvilken Fiksstjernehimlen drejede sig og de enkelte Fiksstjerner beskrev Cirkler. Mellem Jorden og den yderste Himmelsfære vandrede Sol, Maane og de 5 Planeter, bundne til andre Sfærer, der førtes med i Fiksstjernesfærens daglige Omdrejning.

Opløsningen af disse Forestillinger om Universet begyndte med Fremsettelsen af Kopernikus' Lære om Jordens Vandring omkring Solen. Denne Lære stod fra først af ikke i Strid med Opfattelsen af Universet som en endelig Midtpunktsverden med en fast Begrænsning. Verdens Midtpunkt flyttedes blot fra Jordens til Solens Centrum, hvorved det blev muligt at beskrive Planeternes indviklede Bevægelser paa simple Maade, og tillige henlagdes den daglige Omdrejning til Jordkuglen i Stedet for til Himmelsfærerne. Men idet den begyndte Ændring af Verdensbilledet skred videre frem, endte det med, at hele den skønne, afsluttede græske Verdensbygning styrtede sammen og afløstes af et kaosagtigt Univers, hvis uendelige Dybder og Mangfoldighed bragte Tanken til at svimle.

Det var en filosofisk anlagt, oprørsk Aand, Giordano Bruno, som først dristig og kampivrig førte de nye Tanker ud i deres yderste Konsekvenser, idet han lærte, at Himmelhvælvningen blot var en Illusion, at Fiksstjernerne var Sole som vor Sol, omkredsede af Planeter, der kunde være beboet af tænkende Væsner, og at Verdensrummet og Solenes Antal var uendeligt. Naturforskerne forholdt sig mere tøvende; selv Kepler, der fandt Lovene for Planeternes Bevægelse om Solen, veg tilbage for den Tanke, at Fiksstjernerne var Sole. Allerede Tyge Brahe havde dog vovet ligesom Giordano Bruno at rokke ved Troen paa den faste Fiksstjernesfære, idet han udtalte Tvivl om, at alle Fiksstjerner havde samme Afstand fra Jorden, og senere bidrog bl.a. den Række mærkelige Opdagelser, Galilei gjorde, da han rettede Kik-

kerten mod Himlen, mægtigt til Erkendelsen af Jordklodens Lidenhed og af dens og Solens rette Stilling i Universet. Saaledes samvirkede Fantasi, logisk Tænkning og Iagttagelse til at skabe og fæstne det nye Verdensbillede, hvor Jorden sammen med sine Lige, de andre Planeter, kredsede om Solen, og dette Solsystem indordnedes som et enkelt blandt mangfoldige Jævninger, der vandrede om i Verdensrummets uendelige Vidder.

Forskellen mellem den græske og den nyere Verdensopfattelse laa imidlertid ikke blot i det geometriske, d. v. s. i den Maade, hvorpaa Himmellegemernes Stillinger og Bevægelser traadte frem for Anskuelsen i et „Verdensbillede“. Til de forskellige Verdensbilleder svarede grundforskellige fysiske Forklaringer af det, der foregik. For Grækerne dannede det geometriske saa at sige Kernen i Forklaringen af Verdensmekanismen. Naar Stenen faldt og den varme Luft steg til Vejrs, var det, fordi „Jordelementet“ i Følge sin Natur søgte indad mod Verdens Centrum, medens „Ildelementet“ stræbte udad, bort fra Centrum, og naar Fiksstjernerne Døgn efter Døgn udførte deres vældige Vandring i evig uforandret Kredsbevægelse, var det fordi denne Bevægelse var den for Himmellegerne naturlige. Derfor maatte ogsaa de mere indviklede Bevægelser, som udførtes af de nærmere Himmelleger, Planeter, Sol og Maane, fortolkes som sammensatte Kredsbevægelser. Grækerne brugte med andre Ord selve de konstruktive Forhold i Verdensbygningen som „fysiske Aarsager“ eller bestemmende Faktorer i Redegørelsen for de fysiske Processer.

Allerede i Oldtiden var der dog gjort Forsøg paa at drage andre Synspunkter i Forgrunden ved Verdensforklaringen. I Demokrits Atomlære anlægges saaledes det *mekaniske* Synspunkt, idet alle Fænomener søges forklarede som et Vekselspil mellem Smaadele, Atomerne, der saaledes bliver Bærere af de fysiske Aarsager. Og i den af Pythagoras udtalte Tanke, at vi i Tallene finder alle Tings inderste Væsen,

kan vi se Spiren til det *aritmetiske* eller matematiske Synspunkt, hvorefter det ved Verdensforklaringen blot er Maalet at udtrykke Sammenhængen mellem alle iagttagne Begivenheder i matematiske Formler eller med andre Ord „at lægge Verden i Tal“. Men foreløbig blev det geometriske Synspunkt det raadende.

Naar Jordens Centrum ikke mere betragtedes som Verdens Centrum, naar man tænkte sig Jordkloden i Omdrejning om sin Akse og vandrende i Kreds om Solen, og naar Himmelsfærerne var forsvundet, maatte imidlertid ogsaa den „geometriske“ Forklaring falde sammen. Opgivelsen af det græske Verdensbillede medførte saaledes ogsaa Kravet om en helt ny Fysik. Opbygningen af denne begyndtes af Galilei; men det er dog Isaac Newton, der maa betegnes som Skaberen af den til det nye Verdensbillede svarende nye Verdensfysik. I Newtons Fysik syntes den konstruktiv-geometriske Forklaring at være afløst af en mekanisk, idet Vekselvirkninger mellem de forskellige Stofdele var indført som bestemmende Aarsager for de fysiske Processer. Legemernes Fald mod Jorden saa vel som Himmellegemernes Bevægelser var saaledes bestemt ved den indbyrdes Tiltrækning mellem alle Stofdele. Til den geometriske Relativering i det nye Verdensbillede, hvor der ikke var noget Verdensmidtpunkt og ingen Verdensakse, men alle Punkter og alle Retninger i Rummet var lige gode, syntes der her at svare en fysisk Relativering.

I Virkeligheden tilfredsstillede Newtons Mekanik dog ikke *det fysiske Relativitetskrav*, at kun Legemernes indbyrdes Stillinger og Bevægelser skal være bestemmende for de fysiske Processer. Den led i denne Henseende af en fundamental Mangel, som imidlertid først er blevet klart erkendt i de sidste Aartier.

For at se, hvori denne bestaar, kan vi f. Eks. betragte Forholdene ved et kørende Jærnbanelog. Lader en Person i Toget en Sten falde fra et Punkt nær Jærnbanevognens Loft,

vil han — under Forudsætning af, at Togets Bevægelse er jævn — se den falde i en ret Linie ned mod Gulvet. Ligesaa vil han (bortset fra Luftmodstanden) se en Sten, han lader falde fra Vinduet i Vognen, gaa retliniet nedad langs Vognsiden. En Mand, der staar ved Banelinien og betragter den faldende Sten, vil derimod se den beskrive en krum Linie af samme Form som den, der beskrives af en Sten, han selv kaster i vandret Retning med en Hastighed lig Togets (en Kasteparabel). Spørger man nu: Hvem har Ret? Er Stenens Bane virkelig en ret Linie, eller er den en Kasteparabel?, lader dette Spørgsmaal sig ikke uden videre besvare. Henføres Bevægelsen til Banevognen, er Stenens Bane en ret Linie; men hvis Bevægelsen henføres til Banelinien, er den en Parabel. Ved Beskrivelsen af et Legemes Bevægelse i Forhold til et eller andet Henførelsessystem kan man bruge forskellige Angivelser; det er imidlertid bekvemt at tænke sig „et retvinklet Koordinatsystem“, d. v. s. tre paa hinanden vinkelrette Planer eller Linier (Koordinat-akserne) fastlagt i det valgte Henførelsessystem; naar man da angiver Legemets „Koordinater“, d. v. s. dets Afstande fra de tre Planer (i Vognen f. Eks. fra Gulvet, en Endevæg og en Sidevæg) til et vist Tidspunkt, er dens Plads i det paagældende Henførelsessystem til dette Tidspunkt klart beskrevet. Vi kan da sige, at Stenens Bane er ret eller krum, eftersom vi henfører Bevægelsen til et i Vognen eller et i Banelinien fastlagt Koordinatsystem. (Dette er søgt anskueliggjort ved hosstaaende Figur). Paa lignende Maade stiller Sagen sig, naar vi betragter et Legeme, der bevæger sig retliniet her paa Jorden, d. v. s. et Legeme, hvis Bane er en ret Linie, naar Bevægelsen henføres til et i Jorden fast Liniesystem eller med andre Ord „et jordisk Koordinatsystem“. I et i Forhold til Fiksstjernerne fastlagt Liniesystem vil et saadant Legemes Bane være krumliniet, fordi Jordkloden med alle deri faste Linier drejer sig i dette „Fiksstjernekoordinatsystem“. Strengt taget kan man vel ikke fast-

lægge Linier i Forhold til Fiksstjernerne, da disses indbyrdes Afstande ikke er uforanderlige; men da Forandringerne er forholdsvis ubetydelige selv i lange Tidsrum, kan vi dog

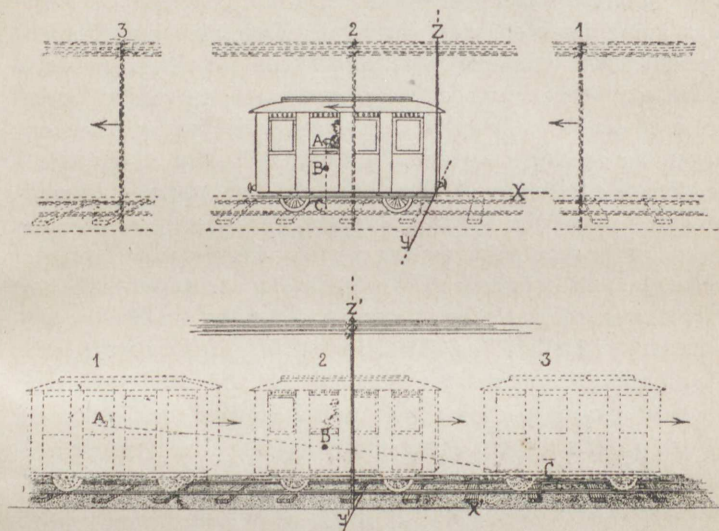


Fig. 1. I den øverste Figur er Bevægelsen af en Sten, der falder fra Vinduet af en kørende Banevogn, henført til denne. Stenens Bane er da den rette Linie ABC. Banelinien med Skinner, Telegrafpæle o. a. farer i dette Henførelsessystem til venstre. En Telegrafpæl er tegnet i tre Stillinger: 1, da Stenen var i A, 2, da den var i B, og 3, da den var i C. X, Y og Z er Koordinataksler i et i Vognen fastlagt Koordinatsystem. I den nederste Figur er Stenens Bevægelse henført til Banelinien. Stenens Bane er da den krumme Linie ABC. Banevognen, der kører til højre, er tegnet i tre Stillinger 1, 2 og 3, svarende til Stillingerne A, B og C af Stenen. X' Y' Z' er et Koordinatsystem, der ligger fast i Forhold til Banelinien.

praktisk talt regne Fiksstjerneverdenen for et fast Punktsystem og tænke os et Koordinatsystem fastlagt i den.

Man vil heraf forstaa, at Newtons første Bevægelseslov, Inertiens eller Træghedens Lov, i Følge hvilken et Legeme, der ikke paavirkes af andre Legemer, forbliver i sin Tilstand

af Hvile eller jævn, retliniet Bevægelse, overhovedet kun har en bestemt Mening, naar det siges eller underforstaas, hvilket System af indbyrdes faste Punkter, Bevægelsen tænkes henført til. I Virkeligheden er det ved denne og Newtons andre Love forudsat, at Bevægelsen henføres til Fiksstjernekoordinatsystemet — eller til et i Forhold til dette jævnt og retliniet bevæget Koordinatsystem; en saadan Bevægelse af det valgte Henførelsessystem vilde nemlig ikke gøre nogen Forandring i Lovene. Ved talrige Forsøg og Iagttagelser her paa Jorden — f. Eks. Foucaults Pendulforsøg, Snurreforsøg, Fald i dybe Skakter, Jordens Fladtrykning — kan det vises, at Lovene ikke gælder i et jordisk Koordinatsystem; skønt Jordens Tiltrækning ved Ækvator er rettet ind mod Jordcentret, vil saaledes et Legeme, der her falder frit, udgaaende fra Hvile i Forhold til Jorden, ikke følge en ret Linie i et jordisk Koordinatsystem, men derimod en krum Linie med Afvigelse mod Øst fra Lodlinien. Men der bliver da Grund til at stille det Spørgsmaal, hvorfor Fiksstjernekoordinatsystemet saaledes er udmærket fremfor det jordiske Koordinatsystem — hvad der er Aarsagen til, at der gælder simple almene Naturlove, naar Legemernes Bevægelser henføres til et i Forhold til Fiksstjerneverdenen fastlagt Liniesystem, men ikke naar de henføres til andre i Forhold til dette ujævnt bevægende eller roterende Liniesystemer, f. Eks. et, der er fastlagt i Jordkloden?

Man kunde herpaa svare, at det jordiske Koordinatsystem drejer sig med Jorden, medens Fiksstjernekoordinatsystemet er i Hvile — eller i alt Fald ikke roterer — og at det er til det hvilende System, Bevægelsen skal henføres, da det ellers ikke er de virkelige Bevægelser, vi betragter; men skal man gøre Rede for, hvad man mener med at betegne Fiksstjerne-systemet som hvilende og de dertil henførte Bevægelser (f. Eks. Jordens Drejning i Forhold til Fiksstjerneverdenen) som de „virkelige“, vil man komme i Forlegenhed.

Vi ser maaske klarest Vanskeligheden, naar vi tænker os,

at vi alene havde været henvist til at betragte Bevægelserne her ved Jorden, f. Eks. fordi Jordkloden var omgivet af et Skylag, saa tæt, at det skjulte Sol, Maane og Stjerner for vore Øjne og endogsaa udvidskede Forskellen mellem Dag og Nat fuldstændig. Gennem grundige fysiske Undersøgelser vilde det da kunne opdages, at man kun ved at henhøre alle

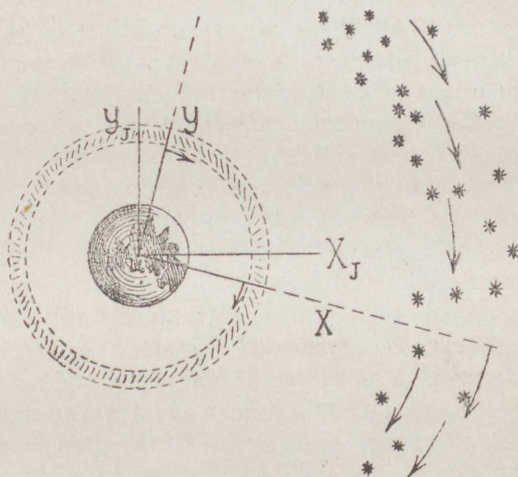


Fig. 2. $X_J Y_J$ forestiller et Koordinatsystem, der er fast i Jordkloden, hvis Akse er den tredje Koordinatakse og maa tænkes at staa vinkelret paa Papi-
rets Plan. XY er et Koordinatsystem, som drejer sig fra Øst mod Vest i For-
hold til Jorden og ligger fast i den af et Skyslør skjulte Stjerneverden.

Bevægelser til et Koordinatsystem, der i Forhold til Jorden drejede sig fra Øst mod Vest en Gang rundt i en vis Periode (den, vi kalder Døgnet) kunde finde simple Love for de jor-
diske Legemers Bevægelser. Man vilde da maaske nok finde paa at betegne et saadant Koordinatsystem (XY i hosstaaende Figur) som „hvilende“ og bruge det Udtryk, at Jorden dreje-
de sig fra Vest mod Øst en Gang i denne Periode. Men denne Drejning var da ikke en Drejning i Forhold til nogensomhelst iagttagelige Legemer, men blot i Forhold til et tænkt Koordi-

natsystem, der er *valgt* saaledes, at vi i det finder simple Bevægelseslove (f. Eks. Inertiens Lov). Idet de jordiske Legemers Opførsel saaledes synes bestemt ikke alene ved deres Forhold til andre Legemer, men ogsaa ved deres Forhold til et saadant Koordinatsystem, kan vi sige, at der jævnsides med de mekaniske Aarsager (Paavirkning fra andre Legemer) optræder en Aarsag af helt anden Art. Vilde man sige, at dette „udmærkede“ Koordinatsystem — „*det fysiske Hvilesystem*“ kan vi kalde det — er „hvilende i Rummet“, saa indfører man derved Bevægelse i Rummet eller „absolut Bevægelse“ som bestemmende for de fysiske Processer; men naar „Rummet“ blot opfattes som en uendelig „Beholder“ for alt iagttageligt, men selv uden Vægge eller Mærkepunkter af nogen Art, kan vi i Virkeligheden ikke forbinde nogen Mening med at henføre Bevægelser til det.

Tænker vi os nu, at Skylaget forsvandt, eller at det ved særlige Instrumenter blev muligt at se igennem det, vilde det derved opdages, at det fysiske Hvilesystem var i Hvile i Forhold til et System af materielle Legemer, Fiksstjerneverdenen. Man kunde da antage, at denne var den manglende mekaniske Aarsag, d. v. s. at det var Fiksstjerneverdenen, som ved deres Stofmængde, Stillinger og Bevægelser i Forhold til de jordiske Legemer var medbestemmende for deres fysiske Forhold; heri vilde da ligge, at enhver Bevægelse af en Fiksstjerne maatte forandre det fysiske Hvilesystem, om end ganske umærkeligt. I Slutningen af forrige Aarhundrede hævdede den tyske Fysiker og Filosof E. Mach med Styrke denne Anskuelse, men foreløbig uden at vinde stor Tilslutning.

En saadan Antagelse laa dog Newtons Tankegang fjernt. Han ansaa snarest det fysiske Hvilesystem for et i Rummet hvilende Henførelsessystem, og naar det faldt sammen med Fiksstjerneverdenen eller i alt Fald ikke drejede sig i Forhold til denne, laa det i, at den selv var i Hvile i Rummet. Man kan sige, at Fiksstjerneverdenen efter Newtons Opfattelse kun er

„Fyrlanterner“, der for vore Øjne *afmærker* det i Rummet hvilende Henførelsessystem, ikke de for Bevægelsen bestemmende mekaniske Aarsager, der *gør* det til det fysiske Hvilesystem. Men dermed bevarer han i sin fysiske Verdensopfattelse et konstruktivt eller geometrisk Element i Lighed med Verdenscentret i den græske. Dette ved sin Beliggenhed i Rummet fremfor alle andre udmærkede Punkt, mod hvilket alt tungt Stof søgte ind, var afmærket ved Jordkloden, hvis Stof i Følge sin Natur havde samlet sig om det; men ligesaa lidt som Fiksstjernerne i Newtons Fysik ansaas for de mekaniske Aarsager, der bestemte det fysiske Hvilesystem, ligesaa lidt betragtede Grækerne Stoffet i Jorden som den mekaniske Aarsag til Faldet; de tænkte sig saaledes ikke Faldretningen paa forskellige Steder af Jorden bestemt ved Stoffets Fordeling i Bjerge, Have og indre tunge Masser.

I Betragtning af den Lighed, her er til Stede, kan det synes vanskeligt at forstaa, at man gennem et Par Aarhundreder næppe nok opdagede denne Mangel ved Newtons Fysik, saa meget mere som de konstruktive eller geometriske Aarsager, der i den græske Fysik var paa det nøjeste knyttede til den hele Forestilling om en planmæssig Verdensbygning, i Newtons Fysik, der skulde være en mekanisk Verdensforklaring, repræsenterede et Fremmedelement. Forklaringen maa først og fremmest søges deri, at det fysiske Hvilesystem var tydeligt afmærket for Øjet ved Fiksstjernerne og tillige — hvad Rotationer og ujævne Bevægelser angaar — let kendeligt gennem talrige fysiske Forhold ved Jorden og Himmelummet. Det fremtraadte saaledes som en Realitet, Fysikerne kunde arbejde med, uden at bekymre sig om Aarsagerne til dets Særstilling; og som allerede nævnt i Indledningen var Overensstemmelsen mellem Teori og lagttagelser overmaade fuldkommen. — I det 19. Aarhundredes Verdensbillede var der desuden indført et Element, der syntes at kunne gøre Tjeneste som den manglende Aarsag. Dette Element var *Verdensæteren*.

II. ÆTERTEORIENS VERDENSBILLEDE OG DETS OPLØSNING

Teorien om et særligt, fint Stof, Æteren, der udfyldte Rummet mellem det grovere Stofs Dele, skriver sig fra den græske Oldtid. Paa Newtons Tid traadte den i nært Forhold til bestemte fysiske Kendsgerninger gennem Huyghens Forsøg paa at forklare Lyset som en Bølgebevægelse eller en svingende Bevægelse i en saadan Æter. Foreløbig sejrede dog Newtons Antagelse, at Lyset var Smaadele udslyngede fra de lysende Legemer; men i det 19. Aarh. maatte denne Lysstofteori vige for Æterteorien. Denne havde imidlertid ogsaa Ærinde paa et andet Omraade. Allerede Newton havde tænkt sig den Mulighed, at de Kræfter, der drog Legemer i Millioner af Miles indbyrdes Afstand mod hinanden, ikke var virkelige „Afstandskræfter“, men skyldtes et mellemliggende Stof eller „Medium“, Æteren, og ogsaa Forestillingen om et Medium som Formidler af Afstandsvirkninger kom i det 19. Aarh. til Ære paa Elektromagnetismens Omraade: Da Clerk Maxwell og Heinrich Hertz viste, at den elektriske og magnetiske Virksomhed udbredte sig gennem Rummet med Lysets Hastighed, og at Lyset blot var overordentlig hurtige elektriske Svingninger eller fine elektriske Bølger, fremtraadte „Lysæteren“, der lod Lysbølgerne ile gennem Rummet, og „Kraftæteren“, der formidlede de elektromagnetiske Kraftvirkninger, som en og samme Verdensæter, der saaledes kom til at indtage en fundamental Stilling i det hele fysiske Verdensbillede.

Endnu savnedes der dog en klar Forbindelse mellem Læren om Æterfænomenerne eller „*Elektrodynamikken*“ og Læren om det grovere Stofs Vekselvirkninger eller „*Meknikken*“, der paa sin Side i det 19. Aarh. havde gjort store Fremskridt gennem Udviklingen af Molekyl- og Atomlæren. Men i Tiden omkring sidste Aarhundredskifte syntes de gennem en Række af store Opdagelser og betydningsfulde Under-

søgelse at skulle smelte sammen til en ny Lærebygning, omfattende som ingen tidligere. Det blev erkendt, at de gamle Grundstofatomer, der for Kemikerne havde staaet som de Byggesten, hvoraf alle Stoffer opbyggedes, selv er Mikrokosmer (Smaaverdener), bestaaende af positiv og negativ elektriske Dele. Man kan sammenligne dem med smaa Sol-systemer, idet positiv elektriske „Atomkerner“ spiller Solens Rolle, medens Planeterne repræsenteres af negativ elektriske „Elektroner“, hvis Masse kun er ca. $\frac{1}{2000}$ af det mindste blandt de gamle Grundstofatomer, Brintatomet. Hurtige Svingninger af disse Elektroner fremkalder periodiske Forandringer i Æterens Tilstand, og Lysbølgerne kunde nu opfattes som saadanne ved Elektronsvingninger frembragte Tilstandsændringer, der bredte sig ud i Æteren med Lysets Hastighed, og man kunde i det hele taget naa vidt frem i Forklaringen af mangfoldige Fænomener ved Hjælp af Elektroteorien, hvis teoretiske Opbygning særlig skyldtes Holænderen H. A. Lorentz.

Naar Elektronerne eller Atomkernerne sættes i Bevægelse i Æteren, opstaar derved i den omgivende Æter en særlig Tilstand, et saakaldt magnetisk Felt: Til at frembringe disse magnetiske Felter eller forøge deres Styrke, kræves en vis Kraftudfoldelse, og der kunde anføres stærke Grunde for den Antagelse, at den Kraft, som efter Inertiens Lov kræves til at sætte et hvilende Legeme i Bevægelse eller at forøge et bevæget Legemes Hastighed, helt og holdent medgaar til Frembringelsen eller Forandringen af de magnetiske Felter, der svarer til Bevægelsen af Stoffets elektriske Bestanddele. Man kan udtrykke dette ved at sige, at Legemernes mekaniske Inerti eller Træghed er af elektrisk Natur. Hermed er imidlertid tilvejebragt en højst betydningsfuld Forbindelse mellem Mekanikken og Elektrodynamikken. Det følger nemlig heraf, at den Bevægelse af et Legeme, som i Følge Inertiens Lov bevares uforandret jævn og retliniet, naar Legemet ikke paavirkes af Kræfter fra andre Legemer,

netop er dets Bevægelse i Forhold til Æteren; denne er, kunde man sige, Mekanikkens Medium saavel som Elektrodynamikkens, og det fysiske Hvilesystem, hvortil de mekaniske Bevægelseslove skal henføres, maa da være selve Verdensæteren. Herved syntes nu den gamle Mekanik — omend med visse Modifikationer — at kunne indføjes i den moderne Elektrodynamik.

Skulde denne virkelig blive en altomfattende Lærebygning, maatte man dog ogsaa kunne bringe den almindelige Tiltrækning mellem alt det grovere Stof ind i Systemet, og alle Forsøg herpaa var hidtil strandet. Langt værre var det dog, at selve Elektrodynamikkens Fundament begyndte at vakle. Den har faaet et alvorligt Stød ved den af M. Planck fremsatte *Kvanteteori*, i Følge hvilken Energien skulde afgives eller optages af Legemerne i smaa Sæt — i „Kvanter“ —, og som særlig gennem Danskeren Niels Bohrs Atomteori har faaet overordentlig indgribende Betydning. Men hvad vi her vil betragte, er dog en anden Side af Sagen, nemlig Forhold, der syntes at sætte selve Æterens Eksistens paa Spil.

Det Koordinatsystem, hvortil Newtons Bevægelseslove skulde henføres, var vel i „Rotationshvile“, d. v. s. det roterede ikke i Forhold til Fiksstjerneverdenen; men som allerede antydet, var alle Koordinatsystemer, der bevægede sig jævnt og retliniet i Forhold til Fiksstjerneverdenen i og for sig lige gode som Henførelsessystemer; man kunde med andre Ord ikke i Newtons Mekanik gøre Forskel paa Hvile og jævn, retliniet Bevægelse „i Rummet“. Denne Ubestemthed syntes Æterlæren imidlertid at bringe ud af Verden. Det laa nemlig i Elektrodynamikkens Forudsætninger, at der var en bestemt fysisk Forskel mellem Hvile og jævne, retliniede Bevægelser med forskellige Hastigheder i Æteren. For Lysets jævne retliniede Bevægelse kunde man saaledes angive en ganske bestemt Hastighed — 300 000 Kilometer i Sekundet — der maatte opfattes som Hastigheden i Æteren, da Lyset

jo var en Bølgebevægelse i denne. Men det maatte da ogsaa være muligt paa en eller anden Maade at undersøge, med hvilken Hastighed og i hvilken Retning Jorden bevægede sig gennem Æteren.

Tænker vi os, at Solen var i Hvile i Æteren, vilde Jorden paa Grund af sit Omløb om Solen fare gennem Ætermediet med en Fart af 30 Kilometer i Sekundet, og derved saa at sige faa en „Ætervind“ af denne Hastighed imod sig. Hvis Solen selv bevæger sig gennem Æteren, førende alle Planeterne med sig, maa Jorden i alt Fald paa visse Steder af sin Bane møde en endnu stærkere Ætervind. Men naar Lyset er en Bølgebevægelse i Æteren, ligesom Lyden i Luften, maa

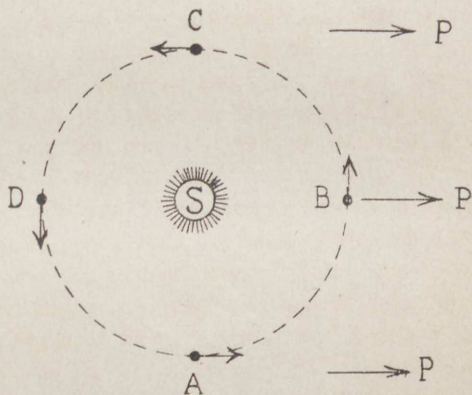


Fig. 3. Pilene P angiver Solsystemets Bevægelse gennem Æteren. Ved A forøger og ved B formindsker Jordens Hastighed i dens Bevægelse om Solen dens Fart gennem Æteren.

Lysbølgerne føres med af Ætervinden som Lydbølgerne af en Luftstrøm, og det er da en given Sag, at Lysstråler, som møder Jorden under dens Fart, maa have en større Hastighed i Forhold til de jordiske Ting end de, der gaar i modsat Retning, eller de, der gaar paa tværs af Jordens Bevægelsesretning — ganske ligesom Lyden har en større Hastighed i Forhold til et Banetog, naar den møder det, end naar den indhenter det.

Er Jordens Hastighed i Æteren 30 km i 1 Sek., drejer det sig om Forskelle af Størrelsesordenen $\frac{1}{10\,000}$ af Lysets Ha-

stighed; men Vanskelighederne ved at paavise dem vilde dog blive langt større, end man skulde tro efter dette Tal. Vi ser dette bedst ved at tænke paa en almindelig jordisk Lyshastighedsbestemmelse, f. Eks. den, der udførtes af Fizeau i Midten af forrige Aarhundrede.

Ved denne sendtes Lys fra en Lyskilde af et Spejl s gennem Mellemrummet f mellem to Tænder paa et hurtigt rote-

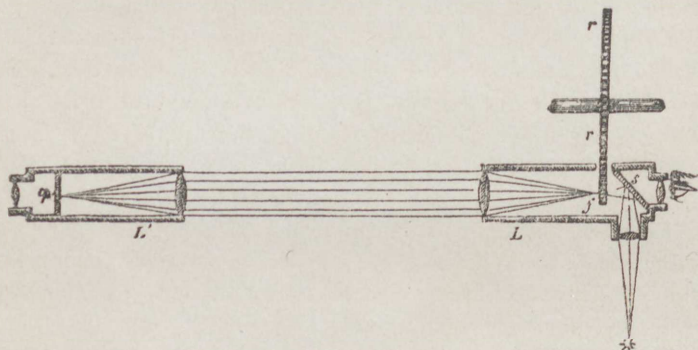


Fig. 4. Fizeaus Bestemmelse af Lysets Hastighed. L og L' er Kikkerter, ved hvilke man bl. a. sørger for, at Straalerne gaar i den rigtige Retning. De tilbageværende Straaler kan gennem den ubelagte Glasplade s naa til Øjet.

rende Tandhjul rr ud til et Spejl q i større eller mindre Afstand, og fra dette Spejl vendte Lyset tilbage til Tandhjulet; drejedes dette nu netop saa hurtigt, at en Tand førtes hen paa det nærmeste Mellemrums Plads, medens Lyset løb frem og tilbage, saa vilde alt det udsendte Lys standses ved Tilbagekomsten, saa at en Iagttager bag Tandhjulet slet ikke vilde se noget Lys vende tilbage. Dette søgte man at opnaa, og man kunde da af Tændernes kendte Hastighed beregne Lysets. Hvad vi skal lægge Mærke til, er imidlertid, at Lyset under Maalingen har løbet Vejen mellem Tandhjul og Spejl baade frem og tilbage, og at det er af Tiden for denne Dobbeltbevægelse, vi udregner Lysets Hastighed. Hvis nu Jorden med Appara-

terne farer gennem Æteren i Retningen Tandhjul—Spejl, saa flygter det sidste for Lysbølgerne, saa at Lyset derfor vil bruge lidt længere Tid om at naa det, end hvis Jorden var i Hvile i Æteren; men naar Lyset gaar tilbage, kommer Tandhjulet det i Møde, saa at Tiden for denne Rejse forkortes. Vi kan da ogsaa sige, at Lyset paa Udvejen har Ætervind imod sig, saa at Lysbølgerne føres noget tilbage (i Forhold til Apparaterne) og derfor sinkes, medens det paa Tilbagevejen har Ætervind med sig og derfor fremskyndes. Da Forsinkelsen og Fremskyndelsen næsten nøjagtigt ophæver hinanden, kan man ikke vente, at Jordens Bevægelse gennem Æteren skal kunne opdages ved en saadan Maaling, der kun giver os Gennemsnitshastigheden for Lysets Rejse frem og tilbage. Paa samme Maade vil det gaa ved enhver anden Maaling af Lyshastigheden, og lignende Forhold vil i Virkeligheden gøre sig gældende ved alle Forsøg paa at paavise Jordens Bevægelse gennem Æteren. Lorentz har bevist, at dette følger af Elektrodynamikkens Grundligninger.

Fuldstændig skulde Bevægelsens Indflydelse paa Lyshastighedens Gennemsnitsværdi dog ikke ophæves. Dersom en Flyvemaskine gaar 100 Kilometer ud imod Vinden og samme Vej tilbage i den samme Vind, vil den være længere om hele Rejsen end i Vindstille. Dette forstaas let, naar man betænker, at Modvindsturen varer længere end Medvindsturen, saa at den Tid, hvori Hastigheden er formindsket, er længere end den Tid, hvori den er forøget. Ganske tilsvarende er Forholdene ved Lyshastigheden. Er Jordens Hastighed gennem Æteren 30 km i 1 Sek. eller $\frac{1}{10\,000}$ af Lyshastigheden, skulde Tiden for Frem- og Tilbagereisen derved forøges med $\frac{1}{10\,000} \times \frac{1}{10\,000}$, d. v. s. en Hundredemilliontedel, hvis Lysstraalen gaar lige med og mod Jordens Bevægelse, og med det halve, hvis den gaar paa tværs af Bevægelsesretningen; og da den anvendte Tid f. Eks. for en Afstand af 150 m kun er en Milliontedel af et Sekund, skulde man tro, at de Størrelser, hvorom det her drejer sig, maatte være absolut utilgængelige

selv for den fuldkomneste fysiske Maalekunst. Ikke des mindre lykkedes det den amerikanske Fysiker A. A. Michelson at udtænke en Forsøgsordning, hvorved Forskellen mellem Lys-hastigheden i saadanne to paa hinanden vinkelrette Retninger skulde træde tydeligt frem, hvis den virkelig er til Stede.

Hosstaaende Figur viser Princippet for Michelsons Forsøg. Lysstraaler L fra en eller anden Lyskilde sendes mod den

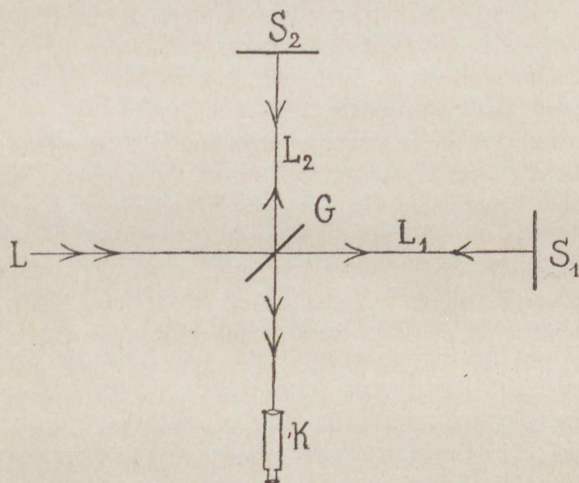


Fig. 5. Michelsons Forsøg.

skraatstillede Glasplade G . En Del af dem L_1 gaar igennem og en Del L_2 kastes tilbage i en Retning vinkelret paa L_1 . To Spejle S_1 og S_2 i omtrent samme Afstand fra G kaster henholdsvis L_1 og L_2 tilbage til G , der lader noget af dem gaa igennem og kaster andet tilbage. Det tilbagekastede af L_1 og det gennemgaaede af L_2 vil nu følges ad til Kikkerten K . Da de to Sæt Lysbølger, som saaledes kommer ind i denne, ikke har gaaet nøjagtigt lige lange Veje og ikke brugt nøjagtigt lige lang Tid, vil de gribe saaledes ind i hinanden, at man i Kikkerten ser en Række Striber, de saakaldte Inter-

ferensstriber. — Lad os antage at Jorden bevæger sig med en vis Hastighed v i Retningen GS_1 medførende Apparaterne. Derved vil Lyset sinkes mere paa Vejen fra G til S_1 og tilbage end paa Vejen fra G til S_2 og tilbage. Hele Forsøgsanordningen er imidlertid opstillet paa et drejeligt Underlag, og naar man drejer det en kvart Omgang, vil det blive Straaerne L_1 , der kommer til at gaa paa tværs af Ætervinden mod Jorden, medens Straaerne L_2 nu gaar lige med og mod den; det bliver derfor nu dem, der sinkes mest. Derved vil de to Sæt Lysbølgers Tidsforskel forandres, hvad der vil bevirke en lille Forskydning af Striberne i Forhold til fine Traade, som er anbragt i Kikkerten. For at ikke tilfældige Rystelser eller Temperaturforandringer skulde ændre Afstandene mellem Glas og Spejle og saaledes gribe forstyrrende ind, lod Michelson Underlaget være en svær Stenplade, der svømmede i Kviksølv. Da Afstandene saa kun kunde være meget korte, anvendte han i Stedet for Spejlene S_1 og S_2 Systemer af Smaaspejle, mellem hvilke Lyset kunde løbe Vejen over Stenpladen mange Gange frem og tilbage, hvorved den samlede Vej for hvert af de to Sæt Lysbølger blev mange Gange større, og man skulde da kunne opdage selv en lille Brøkdels af den Forskydning, der vilde svare til en Ætervind paa 30 km. i Sek. Ved Forsøget, der udførtes første Gang allerede i Firserne, fandtes der imidlertid ingen saadan Forskydning; det gav med andre Ord det overraskende Resultat, at der ikke var Spor af Ætervind: Jorden syntes at være i Hvile i Æteren, og senere Gentagelser har givet samme Resultat.

Vi har dvælet saa længe ved Michelsons Forsøg, fordi det er et af de mærkeligste og betydningsfuldeste, der nogensinde er udført. Skønt den Tidsforskel, hvis Virkning det gjaldt om at paavise, var langt under en Hundredebilliontedel af et Sekund, rystede det negative Resultat af Forsøget hele Æterlæren i sin Grundvold.

Der var dog en Mulighed for at forklare Sagen ved den Antagelse, at Jordkloden og enhver anden Klode fører Æte-

ren i sin nærmeste Omegn med i sin Bevægelse — ligesom et Projektil river et Luftlag med sig; i saa Fald vilde der naturligvis ikke være nogen „Ætervind“ at mærke her paa Jorden. Men Lys, der kom fra Stjernerne, maatte da ved Overgangen til den af Jorden medførte Æter lide en Forstyrrelse, og de simple Forhold, Iagttagelserne viser, kan ikke uden urimelige Hjælpeantagelser forliges med Teorien om den medførte Æter.

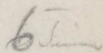
Engländeren Fitz Gerald og uafhængig af ham H. A. Lorentz anviste imidlertid en helt anden, højst mærkelig Udvej. De opstillede den Antagelse, at alle Legemer under deres Bevægelse gennem Ætermediet forkortes i Bevægelsens Retning i et Forhold, der alene afhænger af Bevægelsens Hastighed, men slet ikke af Legemernes Beskaffenhed. Naar Linien mellem Glaspladen og et af Spejlene i Michelsons Forsøg først gik paa tværs af Jordens Bevægelsesretning og derefter drejedes hen i denne, skulde Ætervinden jo hemme Lysets Dobbeltrejse mellem dem noget mere end før; men naar nu Stenpladen i Følge Lorentz' Antagelse trak sig sammen i denne Retning, kunde denne Forkortning af Afstanden opveje den nævnte Hemning, saa at Tiden for Dobbeltreisen i Virkeligheden forblev uforandret. Apparatets Drejning vilde da ikke ændre de to Sæt Lysstraalers Chancer i „Kapløbet“ og derfor ikke give nogen Forskydning af Interferensstriberne.

En saadan Teori, i Følge hvilken Æteren, der ikke gjorde nogen Modstand mod Legemernes Bevægelse, skulde bringe dem til at trække sig sammen i Bevægelsesretningen og det netop saa meget, som udkrævedes til Bortforklaring af det negative Resultat af Michelsons Forsøg, maatte til at begynde med føles som et Kunstprodukt lavet for Tilfældet. Det kunde imidlertid vises, at disse Sammentrækninger lod sig udlede af den nærliggende Antagelse, at de Kræfter, der virker mellem Legemernes Dele og holder dem sammen, er af elektrisk Natur. Naar Lorentz hertil endnu føjede en simpel Antagelse om selve Elektronernes Forhold ved Bevægelse i Æteren,

kunde han tillige ikke blot forklare ogsaa det negative Resultat af visse andre Forsøg paa at paavise „Ætervinden“, men endog bevise, at alle saadanne Forsøg nødvendigvis maatte strande.

Naar de mærkelige Sammentrækninger saaledes kan forklares ud fra ganske simple Grundantagelser, taber den Indvending mod Teorien, at det er et Kunstprodukt, stærkt i Vægt; men Sagen har andre meget betænkelige Sider.

Da alle Maalestokke trækker sig sammen i Bevægelsesretningen i ganske samme Forhold som de Legemer, man vil maale med dem, er det ikke muligt ved nogensomhelst Maalinger at paavise Sammentrækningen, og derved kommer der aabenbart en Ubestemthed ind i vor Bedømmelse af alle Størrelsesforhold og derved i vort hele Verdensbillede. Legemer, som efter vore Maalinger er Kugler eller Terninger, maatte vi tillægge en anden Form, naar vi tog Ætervindens Virkning paa dem med i Beregning; thi de Kuglediametre eller Terningsider, der vender i Retning af Jordens Bevægelse gennem Æteren er jo i Virkeligheden kortere end de andre. Hvis Jordens Hastighed i Æteren kun er 30 km i 1 Sek., d. v. s. en Titusindedel af Lyshastigheden, vil dens efter Bevægelsesretningen rettede Diameter ganske vist kun være forkortet med en Tohundredemilliontedel eller ca. 6 Centimeter. Vi kan imidlertid ikke vide, om Jorden, Solsystemet og hele den synlige Fiksstjerneverden farer gennem Æteren med uhyre stor Hastighed; var denne tæt op imod Lysets, vilde Jorden — uden at vi kunde opdage det — være saa flad, at den snarere kunde betegnes som en Skive end som en Kugle. I omstaaende Tegning er det antydnet, hvor forskellige Former Rundetaarn kunde antage, naar Jorden bevægede sig gennem Æteren med en Hastighed, der kun var $\frac{1}{2}$ Procent mindre end Lysets. Vendte det paa et Tidspunkt lige i Bevægelsens Retning, vilde dets Højde formindskes til $\frac{1}{10}$; men 12 Timer efter vilde det paa Grund af Jordens Omdrejning snarere vende Siden til „Ætervinden“ og derfor nu væsentlig blive fladtrykt paa denne Led. Alle Huse, Mennesker o. a. vilde undergaa tilsvarende

6. 

Forandringer, men vi kunde hverken maale eller se dem, da baade vore Maaleapparater og vore Synsorganer er med i Spillet. Øjets Baggrund, hvorpaa Synsbillederne dannes, vil være forkortet i Jordens Bevægelsesretning i samme Forhold som de betragtede Genstande, og Billederne af disses enkelte

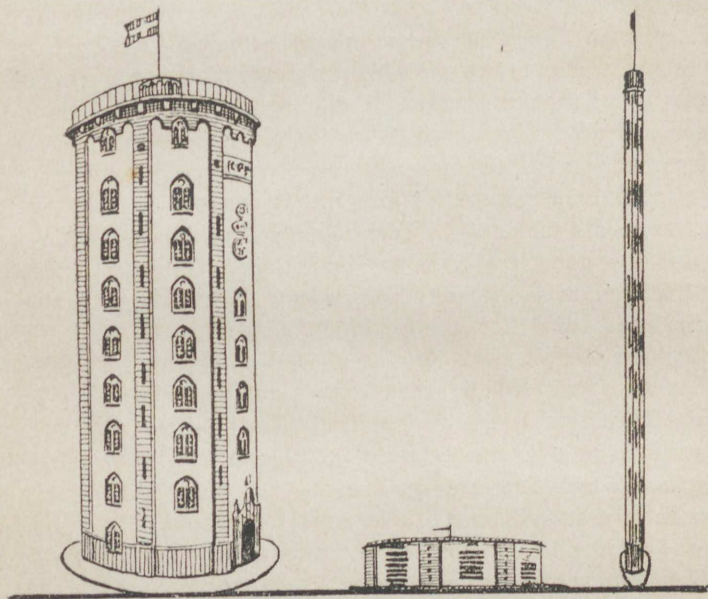


Fig. 6. Første Figur: Rundetaarn, som vi ser og maaler det. Anden Figur: Rundetaarn i en „Ætervind“ efter Højderetningen og med en Hastighed, der kun er $\frac{1}{3}$ Procent mindre end Lysets. Tredje Figur: Rundetaarn i en Ætervind med samme Hastighed paa tværs af Taarnet.

Punkter vil derfor komme paa samme Steder af Øjebaggrunden, d. v. s. træffe de samme Nerveender som, hvis der ingen Forkortning var. Synsindtrykket forandres derfor slet ikke. Og saadan gaar det med alle Prøver.

En lignende Ubestemthed bliver der med Hensyn til alle Tidsforhold. Af sine Grundantagelser har Lorentz udledet, at

Bevægelse gennem Æteren ogsaa vilde bevirke, at alle Ure gik langsommere, og at i det hele taget alle fysiske Processer forløb langsommere i et Forhold, der alene ahang af Bevægelsens Hastighed, og som ligesom denne var ukendt for os. Bevæger en Mand sig gennem Æteren, vil saaledes alle Processer i hans Legeme og dermed hele hans Livsløb foregaa langsommere. Ved en Hastighed lig Lysets vilde Processernes Forløb endog blive uendelig langsom; Tiden vilde med andre Ord staa helt stille for en saadan Mand; tusind Aar vilde være for ham ikke som en Dag, men som et Nu. Det urimelige heri opløser sig dog derved, at en Hastighed lig eller større end Lysets i Følge Nutidens Elektrodynamik maa anses for en fysisk Umulighed, da der til at meddele et Legeme en Hastighed lig Lysets vilde udkræves en uendelig stor Kraft eller en Kraft virkende i uendelig lang Tid. — Det vil endvidere være umuligt at bestemme, hvilke Begivenheder, der er samtidige. Tænker vi os to med Jorden fast forbundne Ure opstillede i lang Afstand fra hinanden, kunde vi stille dem efter hinanden ved Hjælp af Lyssignaler; men vi skulde herved tage den Tid, Lyset bruger for at naa fra det ene til det andet med i Beregning. Vi kunde — bortset fra alle praktiske Vanskeligheder — tænke os Sammenligningen udført paa den Maade, at en Iagttager paa det ene Sted A sendte et Lysglimt til det andet Sted B, hvorfra Glimtet ved et Spejl sendtes tilbage til A. Vi vil tænke os Afstanden saa stor, at Lyset er 10 Minutter om at løbe Vejen frem og tilbage. Udsendes Lyset fra A 5 Minutter i 12 efter Uret her, og vender det tilbage 5 Minutter over 12, skulde Uret ved B stilles paa 12 (som antydte i omstaaende Figur), netop naar Lysglimtet ankom til B, *saafremt* Lyset er lige længe om Ud- og Hjemvejen; men dette vil kun være Tilfældet, hvis Jorden er i Hvile i Æteren; bevæger den sig (sammen med Urene) i Æteren, vil Lysets Hastighed i Forhold til Jorden være forskellig i de to Retninger, og det vilde da være galt at stille de to Ure efter hinanden paa den angivne Maade. Naar vi

ikke kender Jordens Bevægelse i Æteren, kan vi derfor ikke ved en saadan Fremgangsmaade afgøre, hvilke Viserstillinger af de to Ure der er samtidige, og vi kan da heller ikke ved Hjælp af Urene bestemme, hvilke andre paa de to Steder indtrædende Begivenheder der er samtidige. Det kunde heller ikke hjælpe, at vi rejste fra A til B med et Ur, der gik fuldkommen nøjagtigt som det faste A-Ur; thi da selve

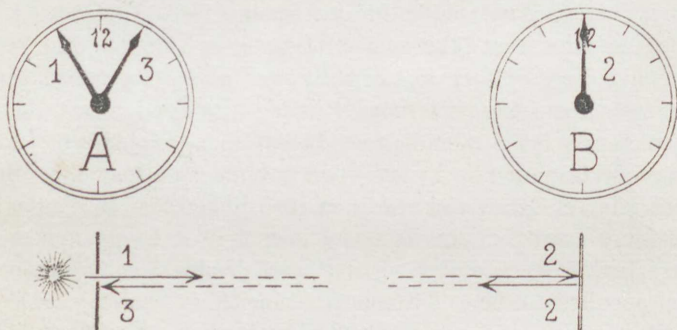


Fig. 7. Sammenligning af Ure ved Lyssignaler.

Rejsen forandrer det medførte Urs Bevægelse gennem Æteren, faar den Indflydelse paa dets Gang, og vi ved ikke, hvor stor denne Indflydelse er. Den samme Ubestemthed i Samtidighedsbestemmelsen vil komme frem ved enhver anden Fremgangsmaade.

Ved alt dette bliver imidlertid Æterteorien alvorlig kompromitteret, og der rejser sig stærk Tvivl om selve Ætermediets Eksistens.

Der kunde allerede forud være megen Anledning til en saadan Tvivl. Til at begynde med havde man nærmest tænkt sig Ætermediet som et fint og tyndt Fluidum i Lighed med Luft eller Vædske; men gennem den videre Udvikling af Lysets Bølgeteori førtes man til snarere at opfatte det i Lighed med et fast Stof, og ud fra forskellige Synspunkter havde

man tillagt det forskellige til Dels indbyrdes modstridende og højst besynderlige Egenskaber — som f. Eks. en Tæthed en Billion Gange saa stor som Vandets. Og medens et dybere gaaende Studium af andre Stoffer førte os ind til Smaadele — Molekyler, Atomer og Elektroner — som Bærere af de Aarsager, der er bestemmende for Stoffernes Egenskaber, var der intet, som tydede paa, at Æteren bestaar af individuelle Stofdele. I Nutidens Elektrodynamik optræder Æteren blot som et forskelsløst Medium, der tænkes som Bærer af et universalt Henførelsessystem, hvortil Lysbevægelsen saa vel som Elektronernes og de uelektriske Legemers Bevægelser henføres. Men hvis Ætermediet virkelig er forskelsløst, kan vi da overhovedet tænke os et Liniesystem eller Koordinatsystem fastlagt deri? Vi kan i det tomme Rum saa vel som i det antagne Medium *tænke* os et Koordinatsystem og henføre Bevægelserne til dette; men vi kan ligesaa lidt i et forskelsløst Medium som i det tomme Rum „nagle“ dette tænkte Koordinatsystem fast til bestemte Punkter, fordi der i Mediet ligesaa lidt som i Tomrummet er iagttagelige Mærkepunkter af nogen Art. At vi *siger*, at Rummet ikke er tomt, men udfyldt af et „Medium“ ved Navn Æteren, kan i og for sig ikke hjælpe os ud over Vanskeligheden; derfor bliver det lige vanskeligt eller umuligt at forbinde en bestemt Forestilling med, at en Lysstraale eller en Elektron har den eller den Hastighed i Forhold til Æteren. Nu synes tilmed Lorentz' Teori om Forandringen i Legemers Dimensioner og fysiske Processers Varighed, at udelukke os fra enhver Mulighed for at faa noget at vide om Legemernes virkelige Hastighed i Forhold til Æteren. Skønt det i Følge den elektrodynamiske Verdensforklaring skulde være Elektronernes Bevægelse i Forhold til Æteren, der ved at frembringe magnetiske Felter og Lysbølger skulde sætte hele Verdensspillet i Gang, forsvinder ethvert Kendetegn paa disse Bevægelseres Hastighed og Retning fuldstændig af alle iagttagelige Fænomener.

Man faar gennem alt dette en stærk Følelse af, at det an-

tagne universale Medium, Verdensæteren, der saaledes under Forskningens Fremgang svinder bort mellem Hænderne paa os i Stedet for — som det „grovere“ Stof, Atomstoffet — mere og mere at aabenbare sine Egenskaber, snarere er en *deus ex machina*, et af Mennesker konstrueret Hjælpemiddel til at bringe Sammenhæng i Verdensmekanismen, end en *machina ex deo*, en eksisterende Naturmekanisme af samme Realitet som Elektroner, Atomer og de deraf opbyggede Legemer. Men er Æteren blot et Fantasifoster, saa bliver den fysiske Forklaring, den skulde yde os, blot en Skinforklaring. Det er sikkert ud fra en Erkendelse af denne Svaghed ved Teoriens Fundamenter, at Lorentz selv om Æteren bruger et saa forsigtigt Udtryk som, at han ikke kan undlade at tillægge den „en vis Grad af Substantialitet“.

Et langt radikalere Standpunkt indtog Einstein, da han i 1905 opstillede sin *Relativitetsteori*, i hvilken han resolut kastede Æteren over Bord og dermed sønderbrød det Verdensbillede, der syntes et af de største og stolteste Resultater af det 19. Aarhundredes fysiske Forskning.

Hvad det reelle, for Iagttagelsen tilgængelige angaar, stemte Einsteins oprindelige Relativitetsteori fuldstændig overens med Lorentz' Teori i den udvidede Form, som den fik snart efter Fremkomsten af Einsteins Lære. Men da Einstein ikke anerkendte Æterens Eksistens, kunde han aabenbart ikke anerkende Bevægelse i Æteren som Aarsag til reelle Forandringer i Legemers Dimensioner og fysiske Processers Varighed. I Stedet for som Lorentz at søge en fysisk Forklaring paa det negative Resultat af Michelsons Forsøg og andre Forsøg paa at paavise en „Ætervind“ opstillede han det ligefrem som en Grundsætning, at saadanne Forsøg altid vilde strande, og han førtes herved til at anse en dybtgaaende Ændring af vor Opfattelse af Rum- og Tidsforhold for nødvendig.

Som fremhævet medførte Lorentz' Teori en Ubestemthed i vor Opfattelse af Rum- og Tidsforhold. Eftersom man an-

tog, at Jorden var i Hvile i Æteren, eller at den bevægede sig i den med større eller mindre Hastighed, maatte man tillægge Jorden og de jordiske Genstande saa vel som andre Kloder, der bevægede sig med en vis Hastighed i Forhold til Jorden, forskellige Former, og tillige bedømme Samtidigheden eller Tidsfølgen af de iagttagne Begivenheder forskelligt. Man fik med andre Ord alt det iagttagne indordnet i Verdensbilledet efter Rum og Tid paa forskellige Maader. Det var ganske vist umuligt ved Iagttagelser at afgøre, hvilken Indordning, der var den rette; men den, der troede paa Verdensæterens Realitet maatte dog erkende, at en af disse Indordninger maatte foretrækkes fremfor de andre og betegnes som den rigtige, nemlig den, der svarer til Jordens virkelige Hastighed i Æteren.

For Einstein stillede Sagen sig ganske anderledes. Han opstillede det som en *Vedtægt*, at en Iagttagere paa Jorden skulde grunde Samtidighedsbestemmelse paa den i det foregaaende skildrede Fremgangsmaade med to Ure og Lyssignaler imellem dem og derved *regne* med, at Lysglimtet var lige længe om Ud- og Hjemvejen, d. v. s., at Lyset gik lige hurtigt i alle Retninger i Forhold til Jorden. En Iagttagere paa en anden Klode skulde — uanset, at denne Klode bevægede sig i Forhold til Jorden — gaa frem paa ganske samme Maade. (I Æterteoriens Sprog vilde dette betyde, at hver Iagttagere antog, at hans Klode var i Hvile i Æteren). Derved fik ganske vist forskellige i Forhold til hverandre bevægede Iagttagere hver sin fra de andres forskellige Tidsindordning af Begivenhederne; men den ene Indordning var ikke at foretrække for den anden. Der kunde overhovedet ikke forbindes nogen bestemt Mening med det Spørgsmaal, om to Begivenheder var „virkelig“ samtidige. En absolut Samtidighed eller en éntydig Tidsindordning af Begivenheder var et falsk Ideal, der havde sit Udspring i en mere primitiv Tidsopfattelse, og Opgivelsen af dette Ideal betegnede ligesom Opgivelsen af Forestillingerne om et Verdensmidtpunkt, eller om absolut Be-

vægelse i Rummet, et Fremskridt i Erkendelse. Naar Æterteoriens Tilhængere til Trods for deres Indrømmelse af, at ingen af de forskellige Iagttagere *ved nogetsomhelst iagttageligt* var udmærket fremfor de andre som den, hvis Tidsindordning var den rette, ikke desmindre hævdede, at en af Iagttagerne i Virkeligheden indtog en saadan Særstilling, saa var dette et uholdbart Standpunkt og et haabløst Forsøg paa at redde den gamle Tidsopfattelse; thi kun det, som kan fremtræde for vor Iagttagelse, kan betragtes som reelt. — I dette Krav, at det, der skal anses for reelt, maa være iagttageligt, ligger naturligvis ikke, at det just skal kunne iagttages ved de Midler, vi faktisk har til Raadighed. Vi anser Negrene i Afrika for reelle, skønt de er usynlige for os i Norden, og Grunde af forskellig Art fører os til at antage Eksistensen af talrige Stjerner, som vi ikke kan opdage selv med de stærkeste Kikkerter, det overhovedet er muligt at lave; vi forlanger blot, at de skal være „principielt iagttagelige“, d. v. s., at de kunde fremtræde for vor Iagttagelse, hvis vi kom dem nær nok eller tilvejebragte visse andre for Iagttagelsen nødvendige Betingelser. Kendetegnene paa Bevægelse i Æteren syntes imidlertid at være principielt utilgængelige for Iagttagelse.

Med Opfattelsen af Rumforholdene var Forholdet ganske tilsvarende. Forskellige i Forhold til hverandre bevægede Iagttagere vilde fælde forskellige Domme om Længder og Former; men efter Einsteins Syn paa Sagen, er deres Domme herom ligeberettigede ligesaa vel som deres Domme om Samtidighed og Tidslængder. Ligestorhed af Rumstørrelser er ligesom Samtidighed noget relativt.

Relativeringen af Tidsopfattelsen og Relativeringen af Rumopfattelsen staar i Virkeligheden i nøjeste Forbindelse med hinanden. Man kan indse dette ved at overveje, hvad der sker, naar en Iagttager med en Maalestok vil udmaale Længden af en Stang, som bevæger sig forbi Maalestokken, glidende langs denne. Idet Stangen ligger an mod Maalestok-

ken, vil Stangens ene Ende i et vist Øjeblik være ud for Maalestockens Nulpunkt; kan Iagttageren da bestemme, ud for hvilket Mærke paa Maalestocken Stangens anden Ende *samtidig* befinder sig, saa har han dermed faaet Stangens Længde bestemt i Maalestockens Enheder eller med andre Ord maalt Stangen. Men der er, som man ser, en Tidsbestemmelse knyttet til Længdemaalingen, og da en Iagttager, der følger med Stangen, vil dømme anderledes om, hvad der er samtidigt, end Iagttageren med Maalestocken, vil de ogsaa finde forskellige Værdier for Stangens Længde.

Den oprindelige Relativitetsteoris Indflydelse paa vort fysiske Verdensbillede kan rettest betegnes som opløsende eller ødelæggende. Naar en Beboer af en eller anden Klode tænker sig alle Stofdeles Stillinger og alle Bevægelser indordnede i et i Forhold til Kloden fastlagt Koordinatsystem i Overensstemmelse med Relativitetsteorien, faar han et Verdensbillede, hvor hans egen Klode, ligesom i vort almindelige Verdensbillede er kugleformet (bortset fra Fladtrykning paa Grund af Aksedrejning), medens alle Kloder, der bevæger sig i dette Koordinatsystem, afviger fra Kugleformen, idet de Diametre, der ligger i Bevægelsesretningen, er mer eller mindre forkortede. Den Fladtrykning, en Iagttager paa Jorden eller Solen maa regne med f. Eks. for en Stjerne som Arcturus, er dog kun noget som en Tomilliontedel, skønt Stjernen bevæger sig i hans Koordinatsystem med en Fart af ca. 300 km i 1 Sek. Endvidere vil Lysets Hastighed i Forhold til hans egen Klode være ens i alle Retninger, men i Forhold til andre Kloder have ulige Hastighed i forskellige Retninger, hvad enten det udgaar fra Kloden eller ej. Disse to Eksempler er tilstrækkelige til at vise, at der er „en Skævhed“ i dette Verdensbillede; idet Iagttagerens egen Klode indtager en Særstilling i det, kan man sige, at det ligesom det gamle græske er præget af hans eget, de almene Naturlove uvedkommende Forhold til denne Klode, om end paa en helt anden Maade. Nu ved den relativistiske Fysiker ganske vist,

at denne Skævhed staar i Sammenhæng med Valget af Koordinatsystem. En Iagttager paa en anden Klode vilde i et paa samme Maade dannet Verdensbillede faa en ganske tilsvarende Skævhed, men med en Særstilling for denne Iagttagers Klode. Men det var umuligt at danne et Verdensbillede uden Skævhed — et, der kunde tilfredsstille som universalt Verdensbillede. I Stedet for et saadant enkelt eller „entydigt“ Verdensbillede bød Relativitetsteorien en Mangfoldighed af Verdensbilleder, hvert belastet med sin individuelle Skævhed. Idet denne Skævhed var af samme Art i de forskellige Verdensbilleder, der alle betragtedes som lige gode, fik man Ensartethed eller Symmetri som Surrogat for den opgivne Enhed; og lod de enkelte Verdensbilleder sig end ikke forlige indbyrdes, var det dog muligt, at omsætte det ene til det andet ved simple Formler, — altsaa atter et Surrogat: Omsættelighed for Overensstemmelse. Under disse Omstændigheder lyder det næsten som en blodig Ironi, naar en af den nye Læres Tilhængere i sin Begejstring opstiller den Paa-stand, at Einsteins Teori bragte større Enhed i vort Verdensbillede. En langt mere rammende Karakteristik af det, den nye Lære syntes at føre i sit Skjold, giver en anden af dens Tilhængere, J. Petzoldt, idet han siger, at enhver af de relativt til hverandre bevægede Iagttagere lever i sin egen Rum-Tidsverden, uden Vinduer til de andres Verden.

Naar Einsteins Lære til Trods for, at meget ved den kunde synes uforstaaeligt og urimeligt, dog hurtigt vandt stor og begejstret Tilslutning, kan der vel nok have været nogen Romantik med i Spillet. Det var for Fysikerne en Tanke af forførende Storhed, at deres eksperimentale og matematiske Arbejdsmetoder skulde skabe Grundlaget for en fuldstændig Forvandling af vore Forestillinger om Rum og Tid og saaledes føre til en epokedannende filosofisk Opdagelse, som Filosoffernes Spekulationer ikke havde ladet nogen ane. Men Hovedgrunden var dog, at Einstein med et dristigt Snit skar gennem det, der var blevet Fysikkens gordiske Knude, og

at den tillige aabnede rige Muligheder for frugtbar fysisk Forskning.

Ud fra den Grundsætning, han opstillede, kunde man nemlig drage nye Slutninger om forskellige fysiske Forhold. Da de i Forhold til forskellige lagttagere hvilende Koordinat-systemer skal være ganske ligestillede, skal de matematiske Udtryk for de fysiske Love have samme Form, hvad enten man henfører Stillinger og Bevægelser til det ene Koordinat-system eller til det andet. Nu kan man imidlertid som ovenfor antydnet gaa over fra det ene System til det andet ved simple Regneregler (Transformationsformler), og skulde man da finde, at Udtrykket for en eller anden Lov derved forandrer Form, saa maa denne Lov i Følge Einsteins Grundsætning være urigtig, og baade i saadanne Tilfælde og ved fysiske Forhold, for hvilke man endnu ikke har opstillet Love, kan man vejledes til at udfinde den rette Lov, idet man søger at give den en Form, som tilfredsstiller Grundsætningen. En af de mærkeligste Slutninger, man har draget ad denne Vej, er den, at et Legemes Vægt eller Masse maa henholdsvis vokse eller aftage, naar Legemet modtager eller afgiver Varme eller i det hele taget faar sit Forraad af Arbejdskraft eller Energi forøget eller formindsket, og at ethvert Gram Stof blot i Kraft af sin Masse indeholder en Energimængde af saa uhyre Størrelse, at hvad en Ton Kul kan afgive ved sin Forbrænding, er ubetydeligt i Forhold dertil. Ganske vist er der ingen Udsigt til, at vi kan drage denne Energi frem, saa at vi f. Eks. kunde opvarme vort Hus i hele vor Levetid ved et Gram Flintesten i Stedet for ved Kul, men naturligvis har Opdagelsen en overordentlig stor Betydning for den fysiske Videnskab. Rigtigheden af den lod sig vel ikke direkte godtgøre; men der var dog nok som tydede paa, at man ad den af Einstein anviste Vej kom til rigtige Resultater.

At man maatte opgive at danne sig et entydigt, anskueligt Verdensbillede var efter manges Mening ingen afgørende Indvending mod Einsteins Lære, idet man efter deres Me-

ning maa føle sig tilfreds med en Sammenknytning af de iagttagne Fænomener i matematiske Formler (smlgn. S. 15).

For mange andre staar imidlertid Kravet om Anskuelighed ved den fysiske Forskning som ligesaa berettiget. For dem kan Fysikernes Arbejde ogsaa betragtes som en Fortsættelse af det Arbejde, hvorigennem allerede Barnet i Vuggen begynder af Sanseindtrykkenes brogede Mangfoldighed at udforme et anskueligt Verdensbillede, i hvilket efterhaanden alt det iagttagne kan indordnes entydigt i Rum og Tid. De har derfor svært ved at bøje sig for Relativitetens Krav om Opgivelse af en saadan Indordning. Vi staar da overfor det Spørgsmaal: Er Kravet tvingende, eller beror det paa et Fejlsyn?

Den oprindelige Relativitetsteori kunde i alt Fald ikke betragtes som sidste Ord i Sagen. Einstein havde i Virkeligheden, da han opstillede den, paa flere Maader gjort sig Sagen for let. Naar han kastede Æteren over Bord, maatte en Række „Tomrumsproblemer“ melde sig med Krav paa Besvarelse. Mellem dem var det til Newtons Mekanik knyttede Problem, hvorfor Bevægelseslovene gjaldt i et Koordinatsystem, der var fastlagt i Fiksstjerneverdenen, men f. Eks. ikke i et, der med Jorden roterede i Forhold til denne. Dette Problem havde Einstein ladet ligge; i den oprindelige Relativitetsteori betragtedes kun Koordinatsystemer, for hvilke Inertiens Lov gjaldt, og hvori Lyset bevægede sig jævnt og retliniet, og de iagttagere, hvis Bedømmelse af Rum- og Tidsforhold sammenlignedes, skulde bevæge sig jævnt og retliniet i Forhold til hinanden. Men det var aabenbart en betænkelig Sag paa et fysisk Grundlag af saa speciel Art at stille Krav om en dybtgaaende Ændring i vor hele Rum- og Tidsopfattelse samtidig med, at et af de fundamentaleste fysiske Problemer vedrørende Legemernes Bevægelse i Rummet laa hen i Mørke.

Einstein indsaa ret hurtigt, at hans oprindelige Relativitetsteori var altfor speciel. Han tog fat paa den store Opgave at opbygge en „almen Relativitetsteori“, som i Modsætning

til „den specielle Relativitetsteori“ inddrog alle mulige Hænførelsessystemer under Betragtningen. Vi har i Indledningen omtalt de store Resultater, hvortil han er naaet ved Opbygningen af denne vidtspændende Teori. Det kunde imidlertid synes, som om denne almene Teori saa langt fra at hele det søndrede Verdensbillede, tværtimod fjerner os endnu længere fra et anskueligt, entydigt Verdensbillede og kræver en endnu dybere Ændring af vor Rum- og Tidsopfattelse end den specielle Relativitetslære. Einstein siger selv, at den Modifikation, Teorien om Rum og Tid har undergaaet ved den specielle Relativitetsteori, vel er dybtgaaende, men at den almene Relativitetsteori „berøver Rummet og Tiden den sidste Rest af Objektivitet“, og heri kunde synes at ligge en meget stærk Afvisning af Muligheden for Dannelsen af et Verdensbillede, hvor alt fremtræder entydigt ordnet i Rumets og Tidens Form.

Vi skal senere komme dybere ind paa Spørgsmaalet om Einsteins Teoriers Forhold til vor Rum- og Tidsopfattelse; men foreløbig vil vi uden at lade os afskrække af Udsagn som det anførte, undersøge, om vi ikke ud fra Betragtninger, der staar paa den almindelige Rum- og Tidsanskuelses Grund, kan naa til et entydigt, med de Michelson'ske og Einstein'ske Kendsgerninger stemmende Verdensbillede, der er befriet for de tidligere omtalte Mangler saa vel ved Newtons Teori som ved Æterteorien.

III. DET RELATIVISTISKE VERDENSBILLEDE

Naar Verdensæteren har indtaget en saa omstridt Stilling i Fysikken — af nogle anset for den materielle Verdens Grundsubstans, af andre regnet for blot et Fantasifoster — maa Hovedgrunden dertil søges i, at selve Æterforestillingen altid har været behæftet med Uklarhed, og der kan næppe være Tvivl om, at man ved at frigøre sig for denne

Uklarhed vilde naa et stort Skridt fremad mod en rigtigere Opfattelse af fundamentale fysiske Forhold.

At der er en saadan Uklarhed til Stede, føles maaske allertydeligst af en Fysiker, naar han vil prøve at forklare Ikke-Fysikere, hvad Æteren er. Han kan da f. Eks. sige, at Æteren er et fint, tyndt eller let Stof eller et Medium, der udfylder alt det tomme Rum mellem det grovere Stofs Dele. Men Betegnelserne „fint“, „tyndt“ eller „let“ for Æterstoffet saavel som det fine latinske Navn „Medium“ virker her næsten snarere som en Slags Høflighedsformer, hvormed man hædrer Æteren end som Udtryk for fysisk Viden og Forstaaelse. Kommer nogen med det brutale Spørgsmaal, om denne Æter nu ogsaa er et rigtigt Stof, eller om det Rum, den udfylder, virkelig er stoffyldt eller tomt Rum, bringes Fysikeren i Forlegenhed; det mærkes tydeligt, at Betegnelserne Stof og tomt Rum er anvendt paa en underlig uklar og vaklende Maade. Vi føres derved fra Æterproblemet til Stofproblemet; vi tvinges til at gøre os klart, hvad vi i Fysikken egentlig forstaar ved Stof i Modsætning til tomt Rum.

Vore første tydelige Forestillinger om Stoffet faar vi utvivlsomt gennem vore Erfaringer med faste Legemer. De fremtræder for vor Følelse som Partier af Rummet, der er i en anden Tilstand end det omgivende Rum; Bevægelser standses brat ved Grænsen af et saadant Parti. Ved blødt elastiske eller andre bløde Legemer mærker vi en mindre brat Bevægelseshemning; men ogsaa her giver dog dels Berøringsformemmelser, dels Synssansen os Indtryk af, at Legemerne har skarpe Grænser, hvor der er et brat Spring i Rummets Tilstand. Søger vi f. Eks. med en Finger at overskride Grænsen, kan vi vel overskride dens oprindelige Plads i Rummet, men Grænsefladen flytter sig sammen med Fingren: Legemet forandrer blot sin Form.

Det lader sig dog ikke gøre at opretholde Forestillingen om Legemer eller „stoffyldte Rum“ som skarpt afgrænsede Rumpartier, der kun paavirker hinanden, naar Grænsefladerne mødes, og som vel kan give efter for hinanden ved at forandre

Form eller flytte sig, men slet ikke være fælles med hinanden om nogen Del af Rummet.

Vi har jo Eksempler nok paa, at Legemer paavirker hinanden, d. v. s. ændrer hinandens Bevægelsestilstand, skønt det, man plejer at regne for deres Grænseflade, er i betydelig Afstand fra hinanden. En Magnets Nordende hemmer en anden Nordendes Nærmelse, længe inden de har „berørt“ hinanden: de „frastøder hinanden“. I Gravitationsvirkningen eller den Newton'ske Tiltrækning mellem Kloder og andre Legemer har vi et Eksempel paa en Bevægelsesændring af modsat Art, idet Legemerne her inden Berøringen paaskyn-der hinandens Nærmelse: de „tiltrækker hinanden“. Magnet- eller Gravitationsvirkningen betragtedes tidligere som væsensforskellig fra Virkningen i Grænseflader. Om denne sagde man, at det var en „Berøringsvirkning“, eller at den skyldtes „Berøringskræfter“. Den anden kaldte man en „Afstands- eller Fjernvirkning“ eller en Virkning af „Afstandskræfter“. Man indførte ogsaa i Fysikken den Udtryksmaade, at der omkring Magneten eller det tiltrækkende Himmellege- me var et „Kraftfelt“ — et Magnetfelt eller et Gravitationsfelt —; men de fleste opfattede dette paa en tom, matematisk Maade, blot som Udtryk for, at andre Legemer her fik visse Bevægelsesforandringer. Det Rum, hvor der var saadanne Kraft- felter, opfattedes som „tomt“, og Kraftvirkningen gennem det tomme Rum mellem Kloder, der var adskilt med Millioner af Mil, stod fremdeles som en Fjernvirkning, der syntes mange naturstridig eller utænkelig, fordi en Ting ikke kan virke, hvor den ikke er. Man mente saa at kunne komme ud over Vanskeligheden ved den Antagelse, at der *foruden* de tiltrækkende Kloder var et ubekendt Stof, et Medium (Æte- ren), der udfyldte det tomme Rum mellem dem; derved skulde de ellers ufattelige Afstandskræfter kunne forklares. Ved Berøringsvirkningen fandt man derimod ikke et særligt Medium nødvendigt for Forstaaelsen, da de hinanden paa- virkende Legemer her var „paa samme Sted“.

Denne Forestilling om ubegribelige Afstandskræfter, der

kræver et særligt Medium til deres Forklaring, og begribelige, eller i alt Fald mere begribelige Berøringskræfter er dog baade uholdbar for Tanken og uden Rødde i Nutidens Fysik. For denne er de faste Legemers Grænser ikke de skarpe sammenhængende Grænseflader, vore umiddelbare Sansindtryk gav os Forestilling om, men Grænseterritorier for den Samling af Atomer, hvoraf Legemerne bestaar, og Atomerne er selv atter sammensatte af negativ elektriske Elektroner og positiv elektriske Atomkerner, som hver danner sit elektromagnetiske Kraftfelt. Naar f. Eks. en Bold standses af en Væg, er det, hvori Bolden søger at trænge ind, ikke et skarpt afgrænset „stoffyldt“ Rum, men en Samling af disse ved Elektronernes og Atomkernernes Centrér lokaliserede Kraftfelter. Selve Elektronerne og Atomkernerne synes nok at have skarpe Grænser — en Elektrons Tværmaal angives saaledes til 3—4 Billiontedel Millimeter —; men der er Grund til at tro, at ogsaa disse Grænser vilde blive ubestemte, om vi kunde trænge endnu dybere ind i Stoffets Natur.

Ved de saakaldte Berøringsvirkninger er Atomer fra de to Legemer saa nær hinanden, at de Kraftfelter, der hører til et Atoms elektriske Bestanddele, kan gøre sig gældende hver for sig overfor Bestanddelene af det andet Atom. Men Atomets Størrelse, d. v. s. den største Afstand mellem dets Bestanddele, er saa ringe, at blot saa langt som en Tusindedel Millimeter fra det, vil Felterne fra dets enkelte elektriske Dele praktisk talt være smeltet sammen til et enkelt Felt — „et Neutralfelt“ kan vi kalde det —, som ikke har elektriske Felters Egenskaber, men derimod er karakteriseret ved den Newton'ske Tiltrækning ind mod Atomet, der med andre Ord virker som en lille Klode. (I Fig. 8 er Forskellen antydningssvis illustreret ved Atomer af simpleste Art med een Atomkerne og een derom kredsende Elektron).

Vi kan derfor sige, at hvad der kendetegner de Rumpartier, vi almindeligt kalder stoffyldte, er, at vi her har at gøre med ejendommelige, stærkt varierende elektriske Felter,

medens vi uden for dem kun har Neutralfelter. Dette er en Forskel, som vi — selv om Overgangen er gradvis — kan forbinde bestemte fysiske Forestillinger med; men det er vildledende at betegne Rum med Kraftfelter af den ene Art som „fyldt“, Rum med Kraftfelter af den anden Art som „tomt“. Det vilde i og for sig være rationelt, men ganske vist ikke praktisk at kalde alle „Kraftfelter“ „Stof“, og i hvert Fald er den i erkendelsesteoretisk Henseende dybtgaaende

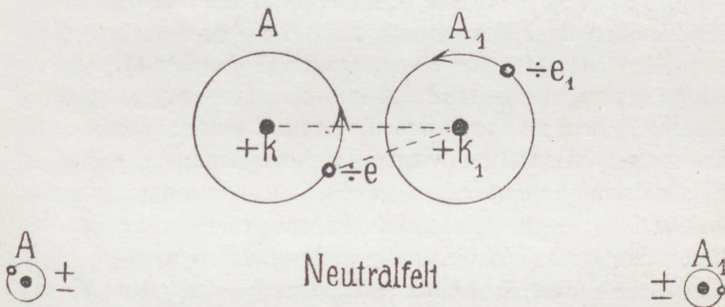


Fig. 8. A og A_1 er to Atomer; k og k_1 er Kærnerne, e og e_1 Elektronerne. Den øverste Figur, hvor Afstandene kk_1 og ek_1 er vidt forskellige, symboliserer en „Berøringsvirkning“, den underste en „Fjernvirkning“.

Forskel mellem fyldt og tomt Rum Forskellen mellem Rum med Kraftfelter og Rum uden Kraftfelter. Taget i denne sidste Betydning bliver „tomt“ kun et Grænsebegreb; det tomme Rum eksisterer ikke i den Verden, vi kender. — Mange vilde maaske søge at fastholde den gamle, umiddelbare Opfattelse ved Hjælp af det Begrebsskille, at et Rum er stoffyldt, naar et Legemes Bevægelse møder Modstand i det, men tomt, naar dette ikke er Tilfældet; men denne Adskillelse kan ikke rationelt gennemføres. Naar et Legeme bevæger sig i Rummet mellem Kloderne, vil Tiltrækningen fra nogle af dem søge at forøge, fra andre at formindske dets Hastighed. Resultatet kan enten være en Forøgelse eller en Formindskelse. I sidste Tilfælde kan man sige, at Bevægelsen møder en

Modstand, ligesaa vel som naar Bevægelsen bliver hemmet i „Stofpartier“ sammensatte af Atomdelenes elektriske Felter.

Vi kan i Tilslutning til det foregaaende sige, at et Molekyl eller et Atom er „et fysisk Individ“, som bestaar af et Stofparti og et Neutralfelt, og dette sidste, der strækker sig i det uendelige, hører ligesaa fuldt med til Individet som Stofpartiet; det er derfor berettiget at sige, at et Atom er uendeligt stort eller fylder den hele Verden, men saaledes at Feltet bliver svagere og svagere udad, d. v. s. dets Indflydelse paa andre Individer eller dets „Feltintensitet“ bliver ringere og ringere, jo større Afstanden fra Stofpartiet er. En Klode eller et andet af talrige Atomer bestaaende Legeme er et uendelig stort sammensat Individ med et Stofparti og et Neutralfelt, der er sammensatte af de enkelte Atomers elektromagnetiske Felter og Neutralfelter. I ethvert Punkt af et Stofparti er Rumtilstanden imidlertid bestemt ikke alene ved de elektriske Felter, der hører til Atomdelscentre tæt ved Punktet, men ogsaa af de fjernere Atomers, ja af fjerne Kloders Neutralfelter. Vi ved nemlig, at Gravitationen ikke standser ved „Stoffets Grænser“, men gennemtrænger det. Solens Tiltrækning virker saaledes paa ethvert Punkt i Jordklodens Indre.

I alt dette er der i Grunden slet ikke nogen ny Antagelse. At Verdensrummet er i en af Kloderne bestemt, fra Sted til Sted varierende Tilstand, er en Kendsgerning, hvorom Gravitationen eller Tyngden mod Kloderne giver os sikre Vidnesbyrd. Naar vi har betegnet denne Tilstand med Navnet Neutralfelt, har vi foreløbig derved kun erstattet Navnet Gravitationsfelt med et andet Navn, hvorved Tilstanden udenfor „Stofpartierne“ karakteriseres i Modsætning til de særlige Rumtilstande i disses elektriske Felter. Men den klare Erkendelse af, at det af fjerne og nære Kloders Neutralfelter sammensatte Neutralfelt i Rummet mellem Kloderne er noget ganske ligesaa reelt som det, vi plejer at kalde Stof, ja, at det eneste reelle eller iagttagelige i Verden er den varierende Rumtilstand, vi betegner med Ordet Felter eller Kraftfelter,

kan ikke undgaa at præge vor Opfattelse af det hele Verdensløb. Først og fremmest taber Begrebet Afstandsvirkning sin Mening, naar vi opfatter hver Klode og hvert Atom som værende overalt til Stede, i Neutralfelterne ligesaa vel som i Stofpartierne. Der bliver da ingen Grund til at indføre et særligt Medium til „Forklaring“ af Afstandskræfter; det vilde blot være Indførelse af et nyt Sæt Kraftfelter, der var ligesaa uforklarlige som de ved Iagttagelser kendte; vi vilde derved bære os ad paa lignende Maade som Inderne, naar de for at forklare, at Jorden ikke synker til Bunds i Verdensrummet, tænke sig den hvilende paa Ryggen af Kæmpeelefanter.*)

Men ogsaa overfor Lyset og „Lysæteren“ bringer denne Erkendelse os i en anden Stilling. Det synes at være at gaa over Aaen for at hente Vand, naar vi opfinder et særligt Medium for Lysbølgerne i Stedet for at opfatte Lysbølgerne, der forplanter sig gennem Verdensrummet, som en fra Sted til Sted fremadskridende periodisk Forandring i den ved Kloderne bestemte Rumtilstand, som er til Stede overalt og udgør det eneste kendte „materielle“ i Verden. Dette er ganske vist en ubevist Antagelse eller Hypotese, saa længe det ikke er paavist, at Lysets Gang i Neutralfeltet paavirkes af de feldannende Kloder, Lyset passerer tæt forbi; men det er en frugtbar Hypotese, idet den vil drive os til at undersøge, om en saadan Paavirkning ikke kan opdages ved tilstrækkelig fine Iagttagelser. Og det er i hvert Fald en erkendelsesteoretisk Misforstaaelse at tro, at Antagelsen af Lysets Bølgeteori nødvendig medfører Antagelsen af et særligt Medium, hvori den periodiske Ændring, vi kalder en Bølgebevægelse, kan skride frem. Hypotesen om et saadant Medium er overflødig, fordi den ikke fører os et Skridt fremad i Forstaaelsen af Verdensmekanismen, og den gør Forholdene mere indviklede, fordi den indfører en besynderlig Dobbeltthed i vor Verdensopfattelse. Rummet skulde saa at sige være fyldt paa dobbelt Maa-

*) Hermed er det dog ikke Meningen at afvise videregaaende Spekulation over Neutralfeltets Natur, dets Forhold til Stofpartiet o. a. som ufrugtbare.

de, dels af de iagttagelige fysiske Individuers Felter, dels af dette Medium.

Det er en langt naturligere Hypotese, at de enkeltvis iagttagelige fysiske Individuer — Kloder, Atomer, Elektroner, Atomkerner eller maaske endnu ukendte Grundbestanddele — er Bærere af alle Aarsager, og at de ved dem betingede Rumtilstande er bestemmende ikke blot for Gravitationen, men ogsaa for Lysbevægelsen og i det hele taget for al fysisk Virksomhed. Gennem denne Opfattelse faar da ogsaa Begrebet Neutralfelt som Betegnelse for Rumtilstande en langt videre Betydning end Begrebet Gravitationsfelt.

Enhver Bevægelse eller Forandring af en Klode eller et Atom maa da antages at have Indflydelse paa al fysisk Virksomhed i Verden. Sker der en Ændring i et Atom, idet dets elektriske Bestanddele, d. v. s. disses Centrér, ordner sig paa anden Maade, eller en Del af Atomet sprænges fra, som det sker ved Radiums Forvandlinger, breder denne Forstyrrelse af Rumtilstanden sig med Lyshastighed ud i Rummet, og efterhaanden som den naar ud, antager Verden en ny Rumtilstand, svarende til den ny Tilstand af det paagældende Individ. Efter Bohrs Atomteori skyldes Udstraalingen fra Legemerne saadanne smaa Revolutioner i Atomernes indre Ordning.

Ud fra Forestillingen om Neutralfeltet vil nu selve den almindelige Tiltrækning fremtræde i et andet Lys. Naar et Legeme bevæger sig med voksende Hastighed ind mod en Klode (d. v. s. mod dennes Stofparti), skyldes dette ikke et mystisk „Træk“ fra Kloden; Bevægelsen er bestemt ved den overalt tilstedeværende Uensartethed af Klodens Neutralfelt, hvis Intensitet aftager udad, og naar et Legeme midt imellem to ens Kloder, hverken faar Hastighedsforandring i den ene eller den anden Retning, finder dette sin tilstrækkelige Forklaring i, at Feltintensiteten her ikke tiltager i den ene eller den anden Retning. Men det vilde være uberettiget heraf at slutte, at de to Neutralfelter saa har ophævet hinanden, saa

at Rummets Tilstand her er den samme, som om de ikke eksisterede. Tværtimod maa man antage, at de to Kloders samlede Indflydelse paa fysiske Processer, der ikke som Hastighedsforandringen („Tiltrækningen“) er betinget af Forskelle i Intensiteten, er større end hver enkelt Klodes.

Hvad er det da for Processer, for hvilke Neutralfeltet eller med andre Ord Kloderne i Rummet maa antages at være bestemmende? Ja, det er de samme, som vi tidligere henlagde til det særlige Ætermedium. Det er ikke alene Lysbevægelsen som ovenfor nævnt, men ogsaa Dannelsen af magnetiske Felter ved Elektronernes Bevægelse. I et virkelig tomt Rum, d. v. s. et Rum uden Kraftfelter, vilde en elektrisk Partikels Bevægelse ikke frembringe noget magnetisk Felt; men her vilde rigtignok ogsaa selve Begrebet Bevægelse tabe sin fysiske Betydning, fordi her intet reelt er at henføre Bevægelsen til. Men selv om vi ikke kan naa til denne tænkte, eller, om man vil, utænkkelige Grænse, kan vi dog slutte, at jo mere vi nærmer os den, d. v. s. jo svagere det Felt er, hvori de elektriske Partikler bevæger sig, des svagere vil de ved Bevægelsen frembragte magnetiske Felter være; men des svagere vil ogsaa, i Følge hvad der tidligere er sagt om Inertiens elektriske Natur, de Kræfter, der udkræves til at ændre Legemers Bevægelse være, des ringere bliver med andre Ord Legemernes Inerti eller Masse; Massen er saaledes ikke, som antaget i Newtons Mekanik for hvert Legeme en uforanderlig Størrelse, men derimod afhængig af Rummets Tilstand.

Af den hele Betragtning følger, at det tidligere omtalte Henførelsessystem for Mekanikkens Bevægelseslove saavel som for Elektrodynamikkens Love — det fysiske Hvilesystem — er et i det af alle Kloder tilsammen dannede Neutralfelt fastlagt Koordinatsystem. Vi er saaledes gennem disse Betragtninger naaet til den Anskuelse, E. Mach som tidligere omtalt havde vundet, omend ad væsentlig anden Vej, nemlig at Fiksstjernerne virkelig var de mekaniske Aarsager til den

Særstilling, „Fiksstjernekoordinatsystemet“ indtog i Newtons Mekanik. Men naar det fysiske Hvilesystem — efter Love, som det er den nye Fysiks Opgave at udgranske — bestemmes ved Stjernerne, maa det forandres ved disses Bevægelse, og det forskelligt paa forskellige Steder. Det er derfor ikke et enkelt universalt „i Rummet hvilende“ System; hver Rumegegn har sit Hvilesystem, til hvilket Bevægelserne her skal henføres, for at man kan faa simple fysiske Love.

Da Jordkloden er af samme Slags Stof som de andre Kloder, maa den ogsaa yde sit Bidrag til Neutralfeltet og ved sin Bevægelse indvirke paa Hvilesystemet. Hvis den var alene i Verden og følgelig ene om at danne Neutralfeltet, vilde Hvilesystemet være fast i Forhold til Jorden, saa at der vilde gælde simple fysiske Love for et jordisk Koordinatsystem; Lege-merne vilde f. Eks. ved frit Fald nøjagtigt følge Lodlinien. Der vilde da hverken være Grund til eller Mening i at tale om en Omdrejning af Jordkloden. Nu er denne imidlertid kun en ganske ringe Del af den hele „feltdannende Verden“; men den maa alligevel drage det fysiske Hvilesystem noget, omend aldrig saa lidt, med i sin Bevægelse i Forhold til Fiksstjerneverdenen, saa at det ikke kunde ligge fuldkommen fast i Forhold til denne, selv om Stjernerne var i indbyrdes Hvile. Ja, man kunde paa Forhaand antage, at det i Jordens umiddelbare Nærhed endog førtes ret kendeligt med af Jordkloden (som det er antaget i Fig. 9), da Stjerneverdenen ganske vist er mangfoldige Gange større end Jorden, men til Gengæld uhyre fjern. Ligesaa kunde man antage, at Solens Aksedrejning og Planeternes Bevægelser indvirkede stærkt paa Hvilesystemet i vore Rumegegne. Naar vi ikke des mindre finder, at det fysiske Hvilesystem hos os, saa vidt vore hidtidige Iagttagelser kan afgøre det, ligger fuldstændig fast i Forhold til Fiksstjerneverdenen, maa vi deraf slutte, at det Bidrag, Jordkloden og alle Solsystemets Kloder yder til Neutralfeltet, selv i vore Rumegegne er meget ringe i Forhold til det, der skyldes Fiksstjerneverdenen — de synlige Stjerner og muligvis endnu

langt mægtigere, selv i de stærkeste Kikkerter usynlige Klode-systemer.

Det er dog muligt, at vi paa anden Maade kan paavise, at de Uregelmæssigheder, Solsystemets Kloder frembringer i det overvældende

mægtige af den ydre Stjerneverden dannede Neutralfelt — Verdensfeltet — har andre Virkninger end den „Newton'ske Tiltrækning“ mod Kloderne. Det er saaledes muligt, at vi ved dem kan gøre Rede for de tidligere omtalte Afvigelser fra Newtons Love ved Merkurs Bevægelse. Vi kan maaske endvidere paa-

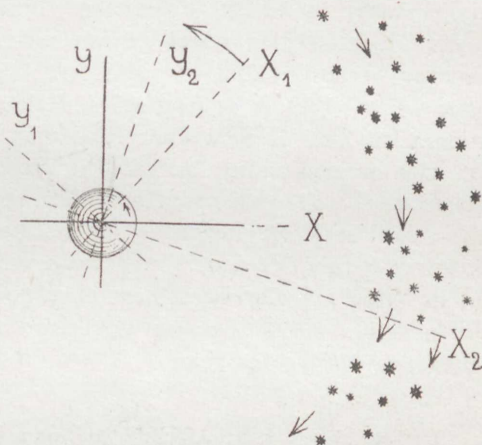


Fig. 9. $X_1 Y_1$ skal betegne et i Jordkloden, $X_2 Y_2$ et i Fiksstjerneverdenen fast Koordinatsystem. De drejer sig som antydte ved Pilene hver sin Vej i Forhold til det ved Jord og Stjerner tilsammen bestemte fysiske Hvilesystem, der (for Egne nær Jordoverfladen) kan være repræsenteret ved Koordinatsystemet XY . — Bevægelsen af $X_2 Y_2$ er i Virkeligheden ganske umærkelig.

viser fra Lysets retliniede Gang i Nærheden af Kloderne, der, som antydte S. 49, maa ventes at finde Sted. Stærke Grunde taler for, at Lysets Hastighed aftager, naar Feltets Intensitet tiltager, altsaa naar vi nærmer os til en Klode; men dette fører til, at Lysstraaler, der passerer forbi Kloderne, maa krummes paa den af Einstein angivne Maade, omend vi ikke kan slutte os til Krumningens Størrelse.

Man kunde sige, at, hvad vi har kaldt Neutralfeltet, svarer til den tidligere Verdensæter; det er saaledes ogsaa ved Be-

vægelsen i Neutralfeltet, de Lorentz'ske Ændringer (S. 30—33) af Legemers Udstrækning og fysiske Processers Varighed fremkommer; og der er i og for sig heller ikke noget i Vejen for at overføre Æternavnet paa det. Men der er den store Forskel, at „Neutralfeltæteren“ ikke er et opfundet, særligt Medium, men noget ganske reelt, nemlig den ved Kloderne bestemte Rumtilstand. Deraf følger det ogsaa, at denne „Æter“ ikke er et forskelsløst Hele; thi Rumtilstanden varierer fra Sted til Sted efter Klodernes Fordeling i Rummet. Den er med andre Ord ikke en „Absolutæter“, men en „Relativæter“. Vi er gennem vore Betragtninger ført til en fuldt relativistisk Opfattelse af det fysiske Verdensløb, idet der i vort fysiske Verdensbillede hverken indgaar et „i Rummet hvilende“ Henførelsessystem eller et særligt, universalt Ætermedium, men alt er et Vekselstil mellem principielt iagttagelige fysiske Individer.

IV. EINSTEINS OPRINDELIGE RELATIVITETSTEORI OG VOR RUM- OG TIDSOPFATTELSE

Der er i Grunden noget vildledende i at betegne Einsteins Teori som Relativitetsteorien. Det er i alt Fald ikke, hvad vi har kaldt „det fysiske Relativitetskrav“ — nemlig at kun Legemernes indbyrdes Stillinger og Bevægelser skal være bestemmende for den fysiske Virksomhed — der udgør Kernen i den. Ordet Relativitet bruges af Einstein i væsentlig anden Betydning.

I Einsteins oprindelige eller specielle Relativitetsteori opstilledes som tidligere anført (se S. 41) den Grundsætning — det saakaldte specielle Relativitetsprincip — at det matematiske Udtryk for de fysiske Love skal være ens, hvad enten man henfører Stillinger og Bevægelser til det ene eller det andet af de i Forhold til de forskellige iagttagere hvilende Koordinatsystemer; disse skal med andre Ord være „ligeberettigede“ eller „ækvivalente“ men Hensyn til Beskrivelsen af den

fysiske Virksomhed; man kunde derfor passende betegne hans Relativitetsprincip som et Ækvivalensprincip. Dette Princip kan imidlertid ikke udledes af det fysiske Relativitetskrav. Af den i det foregaaende udviklede Opfattelse følger det jo, at de forskellige Iagttagere og altsaa ogsaa deres Koordinatsystemer bevæger sig med ulige Hastighed og Retning i Neutralfeltet, d. v. s. i Forhold til den ydre feltdannende Verden, og det vilde da ikke stride mod det fysiske Relativitetskrav, at dennes Indflydelse frembragte forskellige fysiske Forhold i de forskellige Koordinatsystemer.

Vi kan sige, at Indflydelsen af Bevægelsen i Forhold til den feltdannende Verden i Virkeligheden gør sig gældende derved, at alle Iagttagere faar en ejendommelig Skævhed i deres Verdensbillede, naar de (som Einstein kræver) undlader at regne med den (se S. 39). Ved Iagttagelser *indenfor* et begrænset System af materielle Legemer (f. Eks. Solsystemet) i stor Afstand fra alle de ydre feltdannende Legemer, er det rigtignok, efter Einsteins Ækvivalensprincip, umuligt at afgøre, hvor hurtigt dette System bevæger sig i Forhold til den ydre Verden, og vi kan derfor ikke regne *rigtigt* med Indflydelsen af denne Bevægelse (de Lorentz'ske Forandringer). Men et saadant System er ogsaa, naar den ydre feltdannende Verden lades ude af Betragtning, et af sin Sammenhæng løsrevet Stykke af Universet. Vi, som bor her i Solsystemet, er jo imidlertid heller ikke bundet til blot at gøre Iagttagelser indenfor dets Grænser. Vi modtager en Mangfoldighed af Lysbud fra fjerne Kloder og ved med Snille og Taalmodighed at studere dem har vi virkelig faaet noget at vide om, hvor hurtigt og i hvad Retning Solsystemet bevæger sig i Forhold til den synlige Stjerneverden. Nu tør vi ganske vist ikke gaa ud fra, at Neutralfeltet i vore Rumegne dannes alene af de synlige Stjerner. I Virkeligheden nødes vi af stærke Grunde til at antage, at disse kun udgør en ganske ringe Del af „vor feltdannende Verden“, idet der til denne maa medregnes uhyre Systemer af Kloder, der er for langt borte fra os til at opdages selv ved de stærkeste

Kikkerter; men at vi ikke kan iagttage dem, beror kun paa Begrænsningen i vore Iagttagelsesmidlers Rækkevidde, og det er da ogsaa blot denne Begrænsning, der hindrer os i at afgøre, hvor hurtigt og i hvad Retning Solsystemet bevæger sig i „Verdensfeltet“ eller „Æteren“; det er ikke principielt umuligt; det er ikke meningsløst at tale om Hastigheden af denne for de Lorentz'ske Forandringer bestemmende Bevægelse. Men dermed mister den Betragtning, hvorpaa Einsteins Krav om en Revolutionering af vor Rum- og Tidsopfattelse oprindeligt hvilede, sin Berettigelse.

Naar man hverken antog, at der var en Æter, eller indførte det af samtlige Kloder dannede Neutralfelt — Verdensfeltet — som Erstatning for denne, syntes Einsteins Ækvivalensprincip ganske uforstaaeligt. Vi skal ikke fordybe os i de forskellige tilsyneladende Urimeligheder, det medførte, men blot fremdrage den, at Lysets Hastighed skulde være den samme, nemlig 300 000 km i 1 Sek. for en Iagttager i Solsystemet og en Iagttager f. Eks. paa en anden Stjerne, selv om Solen og denne Stjerne bevæger sig med stor Fart i Forhold til hinanden; eller — for at tage et Eksempel fra det jordiske Omraade — at en Lysstraale, der farer forbi et kørende Banetog, skal have nøjagtig samme Hastighed i Forhold til Toget og til Banelinien. En saadan Paastand kunde synes at stride mod den sunde Menneskeforstand, og det syntes endogsaa i og for sig urimeligt, at man overhovedet kunde opstille en fysisk Lov angaaende Lysets Bevægelse i Forhold til Toget eller Banelinien; thi intet af dem har nogetsomhelst at gøre med Lysbevægelsen i den forbifarende Lysstraale. Betragter vi Sagen i Lys af den fysiske Relativitet, opløser Forvirringen sig imidlertid til et Spørgsmaal om Udtryksmaader. Naar Lyset anses for en periodisk, fremadskridende Ændring af Tilstanden i de forskellige Punkter af Verdensfeltet — en Bølgebevægelse, der skrider gennem det — saa er Verdensfeltet noget, der i høj Grad er Lysbevægelsen vedkommende, og Lyshastigheden i Forhold til dette er „en fornuftig fysisk Stør-

relse“. Er denne nu 300 000 km i 1 Sek. vil den have andre — og forskellige — Værdier i Forhold saa vel til Toget som til Banelinien, naar de begge bevæger sig gennem Verdensfeltet. Idet de Ure og Maalestokke, som Fysikere paa Toget og Banelinien maa bruge for at maale Lyshastigheden, ændres efter de Lorentz'ske Regler, vil de ganske vist finde Værdien 300 000 km i 1 Sek. for Lyshastigheden, *under Forudsætning af, at de ikke indfører Rettelser for Maalestokkenes Ændringer*; men saa er deres Kilometer og Sekund jo forskellige og andre end de til Hvile i Verdensfeltet svarende saaledes benævnte Maaleenheder, for hvilke Lyshastigheden i Verdensfeltet faar Talværdien 300 000. Den af Einstein opstillede Regel for Bestemmelse af Samtidighed (S. 37) kommer i Virkeligheden ud paa det samme som en *Vedtægt* om, at de forskellige i Verdensfeltet bevægede Iagttagere ikke skal rette deres Maaleinstrumenter (d. v. s. dem, der følger med dem) for Bevægelsens Indflydelse, men *regne* dem for uforandrede. Derved bliver imidlertid ogsaa det, han *kalder* Lyshastigheden en vedtægtsmæssig Regnestørrelse. At denne, bestemt efter de angivne Regler, bliver den samme for de forskellige Iagttagere, vidner om en Simpelhed af særlig Art ved Verdensmekanismen, men der er ikke det mindste meningsløse eller mystiske ved det; det kan ikke tvinge os til at opgive vor naturlige Rum- og Tidsopfattelse.

Troen paa, at en Revolution af denne var baade nødvendig og mulig, fandt stærk Støtte i den elegante matematiske Form, den nu afdøde H. Minkowski gav Einsteins Lære ved at anvende den saakaldte „firdimensionale Geometri“, idet han indførte Tiden som fjerde Dimension ved Siden af de tre Rumdimensioner.

I en plan Flade kan man kun tegne to paa hinanden vinkelrette Linier gennem et Punkt, og ethvert andet Punkts Beliggenhed i Planen er fuldstændigt bestemt ved dets Afstand fra saadanne to Linier (dets Koordinater). Mere i Almindelighed kan man sige, at et Punkts Beliggenhed i en

Plan og i det hele taget i en Flade er bestemt ved to Størrelser eller Koordinater. Man siger, at en Flade har to „Dimensioner“. Populært udtrykker man det gerne ved at sige, at en Figur i en Plan eller anden Flade har Længde og Bredde, men ingen Tykkelse. I Rummet kan man gennem et Punkt lægge tre paa hinanden vinkelrette Planer, der skærer hinanden i tre paa hinanden vinkelrette Linier, og et Punkts Beliggenhed er bestemt ved tre Koordinater: Rummet har tre Dimensioner; rumlige Figurer har Længde, Bredde og Tykkelse.

Punkters, rette Liniers og Planers indbyrdes Stillinger, krumme Liniers og Fladers Former og deres Skæringer med hinanden kan nu dels føres frem for Anskuelsen ved Tegning og anden virkelig Konstruktion eller blot gennem vor Forestillingsevne, dels udtrykkes i matematisk Form ved Ligninger eller Formler, hvori de forskellige Punkters Koordinater indgaar. I den saakaldte analytiske Geometri gaar de to Fremstillingsmaader, den „geometriske“ eller anskuelige og den „aritmetiske“ eller formelmæssige, Haand i Haand, og de kan paa mange Maader støtte hinanden. Nu kan man, hvad det formelmæssige angaar, godt gaa videre fra tre til fire (eller flere) „Dimensioner“, d. v. s. man kan opføre en Lærebygning, hvor fire Størrelser indgaar i Formlerne paa tilsvarende Maade som de to Koordinater i den plane og de tre Koordinater i den tredimensionale analytiske Geometri. Det, disse firdimensionale Formler udtrykker, kan ikke føres frem for Anskuelsen; men det falder naturligt billedligt at anvende Betegnelser som Punkter, Linier, Afstande o. s. v. hentede fra det geometriske i den firdimensionale Lærebygning, som dermed faar et geometrisk Præg, og selv om den kun bliver Pseudogeometri (Skingeometri), kan de geometriske „Lignelser“ eller „Analogier“ dog være meget nyttige, idet de leder Matematikeren paa Vej og hjælper ham til at faa Overblik.

Det kunde ligge nær at anvende en saadan firdimensional Lærebygning paa den matematiske Beskrivelse af den fysiske

Virksomhed; thi i denne indgaar foruden de tre Koordinater, som angiver de betragtede Punkters Plads i et eller andet Øjeblik, tillige Tiden. Vi kan kun danne os et anskueligt Billede af den bevægede Verden ved stadig at flytte Lege-merne og deres Dele — de materielle Partikler — til nye Punkter; vi maa saa at sige for hvert nyt Tidspunkt slette hele Billedet ud og lave det paany med Partiklerne i andre Punkter. Vort Verdensbillede er med andre Ord et „levende Billede“, idet Verdensløbet fremtræder som en uafbrudt Række af Øjebliksbilleder. Idet nu Minkowski indførte Tiden som fjerde Koordinat i en „firdimensional Mangfoldighed af Rum og Tid“, fik han en Fremstilling af Verdensløbet — „den absolute Verden“ —, som var uforanderlig, rummende paa en Gang alt, hvad der skete i Tidens Løb; hver enkelt materiel Partikel havde her sin „Rum-Tidslinie“ eller „Verdenslinie“, hvis enkelte Punkter repræsenterede Partiklens Tilstand, d. v. s. dens Forhold til og Møde med andre Partikler til forskellige Tidspunkter. Ganske vist var denne Verdensfremstilling utilgængelig for Anskuelsen, omend Udtryksmaader og Analogier gav den et Skin af Anskuelighed; men den var ikke alene smuk og genial, men tillige bekvem, og den har vist sig overordentlig frugtbar; thi kun ved at anvende den firdimensionale Rum-Tidsfremstilling blev Einstein i Stand til at udvikle sin almene Relativitetstælle.

Det maa dog bemærkes, at den Størrelse, Minkowski indførte som fjerde Koordinat, ikke slet og ret var Tidslængden regnet ud fra et eller andet Begyndelsestidspunkt i Sekundet som Enhed, men Tidslængden multipliceret med Lysets Hastighed og det matematiske Symbol $\sqrt{-1}$, der er en „imaginær“ Størrelse. Kun derved opnaaede han at faa Lærebygningen til paa simpel Maade at fremstille Einsteins specielle Relativitetstælle. Ved en almindelig tredimensional Fremstilling af de geometriske Forhold i Rummet har man jo Lov at ændre Valget af Koordinatsystem, f. Eks. dreje dette hen i en ny Stilling. I Minkowskis firdimensionale Mangfoldighed

betød nu det, der svarede til en saadan Drejning af Koordinat-systemet, netop den Ændring af Verdensbilledet eller Fænomenernes Indordning efter Rum og Tid, som i Følge Einsteins Teori fandt Sted, naar man gik over fra en Iagttagers Betragtningssmaaade til en andens. Det er særlig til dette Forhold, der sigtes med de i Indledningen citerede Ord af Minkowski om Rummet og Tiden. Naar det ser ud, som om en saadan „Koordinatdrejning“ er fuldt tilladelig, d. v. s. at de forskellige „Stillinger“ af Rum-Tidskoordinatssystemet fysisk set er ganske ligestillede, saa er det imidlertid, fordi den feldtdannende Verden ligesaa lidt var medtaget i Minkowskis Fremstilling som i Einsteins oprindelige Relativitetsteori. Ligesaa lidt som denne betød derfor Minkowskis Fremstilling en filosofisk Revolution, et højere Syn paa Rummet og Tiden.

Minkowski selv var ikke fri for Illusioner i denne Retning. Grebet af Begejstring ved Udsigten til, at dristige matematiske Tankebygninger skulde materialiseres ved Fysikkens solide Stof udbryder han: „Det vilde tjene Matematikerne til Ære og aabenbart vække grænseløs Forbavselse hos den øvrige Menneskehed, at Matematikerne alene ved deres Fantasi havde skabt et stort Omraade, som en skønne Dag skulde faa den fuldkomneste reale Eksistens, skønt disse Idéens Arbejdere aldrig havde stillet sig et saadant Maal for Øje“. Det er da ikke saa mærkeligt, at mange andre har været tilbøjelige til at se noget vidunderligt og mystisk i Indførelsen af Tiden som fjerde Dimension. Som et morsomt Eksempel paa, hvilke mærkelige Anskuelser derved kan fremkaldes, skal det anføres, at en ung Mand, der havde læst om Minkowskis System og den Rolle, det imaginære Tal $\sqrt{-1}$ spillede deri, erklærede, at nu havde han endelig forstaaet, hvad et imaginært Tal egentlig var; det var aabenbart Forholdet mellem Tiden og Rummet! I Virkeligheden viser denne Indførelse af $\sqrt{-1}$ snarere med særlig Tydelighed, at det kun drejer sig om en matematisk Fremstillingsform.

Hvad Indførelsen af Tiden som „fjerde Dimension“ i Virke-

ligheden betyder, naar man ser mere nøgternt paa Sagen, forstaas lettest, naar vi betragter en tilsvarende Fremgangsmaade, der er tilgængelig for Anskuelsen, idet vi giver en Rum-Tidsfremstilling af en Bevægelse i en Plan, f. Eks. en Cirkelbevægelse om et Punkt. I Fig. 10 er O Cirkelns Centrum. Partiklens Plads i Planen til et eller andet Tidspunkt angives ved dens Afstande x og y fra de to Koordinataksler X og Y . Vi kan imidlertid nu indføre Tiden som tredje Koordinat. Vi vil antage, at Partiklen befinder sig ved A til det Tidspunkt, vi regner Tiden ud fra; naar den er i et vist andet Punkt c, vil der være gaaet en Tid z , som vi i en passende valgt Enhed (f. Eks. 1 Sekund repræsenteret af 1 Centimeter el. a.) afsætter opad paa en Linie gennem c vinkelret paa XY-Planen; derved kommer vi til et Punkt C, hvis tre Koordinater x , y og z angiver baa- de Partiklens Plads i Planen og den Tid, den har brugt om at

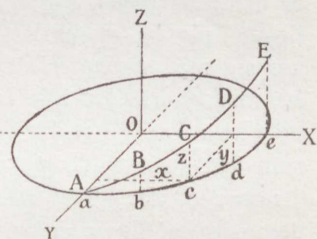


Fig. 10. Rum-Tidsfremstilling af en Bevægelse.

naa saa langt fra A. Linien ABCD . . . gennem saadanne Punkter en da Partiklens Rum-Tidslinie. Jo langsommere Partiklen bevæger sig, des stejlere vil Rum-Tidslinien stige; thi des længere Tid vil der f. Eks. være gaaet, naar den har tilbagelagt et kvart Omløb. Er Bevægelsen jævn, Hastigheden altsaa uforandret, vil Rum-Tidslinien stige jævnt eller med andre Ord være en Skruelinie som forudsat paa Figuren. Bevæger der sig i Planen en anden Partikel, hvis Bane skærer den førstes, vil de to Rum-Tidslinier i Almindelighed gaa klar af hinanden; kun dersom Partiklerne kommer til Baneskæringspunktet paa samme Tid, vil Rum-Tidslinierne skære hinanden; deres Skæring i et „Rum-Tids-Punkt“ angiver altsaa et Møde mellem de to Partikler eller Legemer (f. Eks. et Sammenstød mellem en Planet og en Komet, hvis Fremstil-

lingen angik saadanne Himmellegemer). — Den her antydede Rum-Tidsfremstilling kan være meget bekvem; men der er aabenbart ikke det mindste mystiske ved Sagen.

Naar det i det foregaaende er sagt, at vi ved at indføre de Lorentz'ske Forandringer af Maalestokke og Ure faar et entydigt Verdensbillede og kan opretholde vor naturlige Rum- og Tidsopfattelse, vilde mange maaske indvende, at disse Forandringer kun er Regnestørrelser, ikke reelle Ændringer, da vi ikke kan paavise dem ved Maalinger saaledes som de reelle Ændringer, der skyldes Tryk, Temperatur o. desl. Nu er det ganske vist sandt, at de ikke kan opdages ved Maalinger indenfor et materielt System, hvor alle Partier bevæger sig med samme Hastighed og Retning i Neutralfeltet eller med andre Ord alle faar samme „Ætervind“ (se S. 31); men naar forskellige Partier bevæger sig forbi hinanden, maa man dog sige, at de gør sig bemærkede ved den Uoverensstemmelse, der bliver mellem de forskellige Iagttageres Bedømmelse af Længder og Tider. Og paa et fast Legeme, som roterer, saa at dets enkelte Dele bevæger sig med forskellig Hastighed og Retning i Neutralfeltet, kunde disse Forandringer træde ligesaa umiddelbart frem og gøre et ligesaa reelt Indtryk som Forandringer ved Temperatur og Tryk — vel at mærke, hvis de var store nok. I Praksis er de rigtignok saa overordentlig smaa, at de af den Grund unddrager sig direkte Iagttagelse selv ved de allerfineste Maalemetoder, og vi maa derfor nøjes med Tankeeksperimenter; men til Belysning af Sagens Natur kan de ogsaa være gode.

Vi vil da tænke os en Skive S, (Fig. 11), hvorpaa vi har lagt en Række smaa Maalestokke b, b . . . efter en Radius fra Centrum til et Punkt af Omkredsen, stødende op til hinanden og endvidere anbragt andre smaa Maalestokke a, a . . . vinkelret paa Radius i forskellige Afstande (se den første Tegning paa Fig. 11). Nøjagtigt ud for Enderne af alle Maalestokkene er der indridset fine Mærker paa Skiven. Nu sætter vi Skiven i hurtig Omdrejning. Derved vil der opstaa Centri-

fugalkræfter som vilde slynge Maalestokkene udad, frembringe Spændinger i Skiven o. s. v.; men dem vil vi se bort fra. Der opstaar imidlertid tillige Lorentz'ske Sammentrækninger af Maalestokkene a , de vil nemlig ved Omdrejningen komme til at bevæge sig i deres Længderetning i Verdensfeltet, i hvilket vi kan tænke os Skiven hvilende til at begynde med. Hvad nu selve den faste Skive angaar, vil Linier med Retning efter Radius ikke have nogen Tilbøjelighed til at

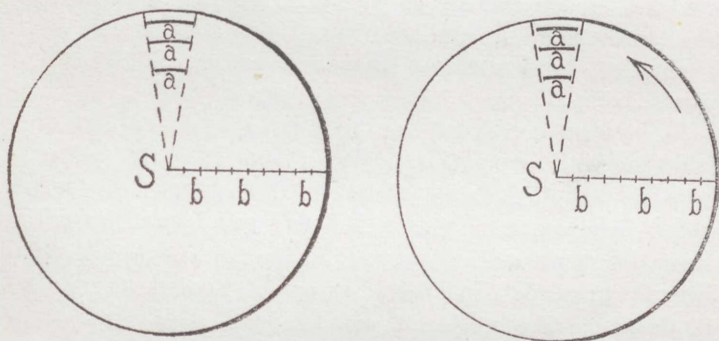


Fig. 11. Lorentz'ske Forkortninger frembragte ved Omdrejning.

trække sig sammen, da de staar vinkelret paa Bevægelsesretningen. Derimod vil Linier langs Omkredsen og i det hele taget Linier vinkelrette paa Radierne ligesom Maalestokkene søge at trække sig sammen; det kan de imidlertid ikke komme til, uden at Radierne forkortes; thi mellem en Cirkels Omkreds og dens Radius bestaar der et ganske bestemt Talforhold, 2π , d. v. s. 2 Gange Tallet 3,1416 ... der betegnes med det græske Bogstav π (pi). Forudsætter vi, at Skiven er usammentrykkelig efter Radierne, bliver Resultatet blot, at der opstaar Spændinger (eller Sønderrivninger) langs Omkredsen og de mindre Cirkler, men at deres Længder forbliver uforandrede. Følgen heraf vil aabenbart blive, at medens Maalestokkene b forbliver ved deres Mærker, vil Maale-

NEJ!
gæses i modset
side

stokkene a ikke længer slutte til Mærkerne paa Skiven ved deres Ender, og de iagttagne Forkortninger (se den anden Tegning paa Fig. 11) er netop Lorentz-Forkortningerne; mere direkte kan man næppe forlange, at disses Fremtrædemaaede skal være. At de dog ikke kan gøres synlige i et virkeligt Forsøg, vil man indse, naar det angives, at Forkortningen selv ved en Hastighed af 300 Meter i Sekundet kun er en Tobilliontedel af Maalestockens Længde. — Var Skiven meget tynd kunde den slaa sig, d. v. s. bule ud paa Midten, hvorved Omkredsen kunde blive mindre, uden at Linien fra Midtpunktet til Randen maalt langs den krummede Skive formindskedes.

Forholdene har i det hele megen Lighed med dem, der vilde indtræde, naar Skiven blev afkølet stærkere ved Randen end ved Centrum; ganske vist indtræder herved ogsaa nogen Sammentrækning efter Radian; men Længdeforandringerne fremtræder ikke i dette Tilfælde som mere reelle end i det foregaaende. En anden Sag er det, at den ydre Aarsag til dem her vil være let at paavise (de til Afkølingen benyttede Midler), medens vi har maattet spinde et Net af Tanke-træde for at erkende Bevægelsen i Forhold til den feltdannende Verden som Aarsag til de Lorentz'ske Sammentrækninger.

Vi har her taget saa stærk Afstand fra den Einstein'ske Synsmaade, fordi den har forvoldt unødigt Uklarhed og Strid, og der kan ikke være Tvivl om, at Einstein selv har et ikke ringe Ansvar herfor ved sine Udtryksmaader. Ikke mindst gælder dette om Fremstillingen i Einsteins fængslende og i mange Henseender ypperlige lille Bog „Ueber die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie“, som antagelig vil være adskillige af Læserne bekendt. Men samtidig maa det fremhæves, at de Einstein'ske Vedtægter har været i høj Grad nyttige for Problemernes Behandling, og at hans Synsmaader, hvad der end pædagogisk og filosofisk kan indvendes mod dem, har været yderst frugtbare ved Opbygningen

af den mere omfattende Teori. Tillige maa det erkendes, at Einstein har bidraget til Uddybning af vor Rum- og Tidsopfattelse, idet han stærkt har fremhævet noget meget væsentligt ved den.

Der sigtes herved til det Forhold, at vi i Virkeligheden slet ikke direkte kan iagttage Størrelsen af Længder og Tidsrum. Ved Maalinger er det, man virkelig iagttager, *Sammenfald* eller „Koincidenser“ dels af bestemte Mærker paa Maalestokke med visse Punkter paa Legemerne, af Billedpunkter med fine Traade i Kikkerter o. s. v. dels af Tidspunkter, angivne ved Ure, med visse Begivenheder, og det er i det hele taget saadanne Rum-Tidssammenfald, der danner Grundlaget for vor Indordning af alt, hvad vi iagttager, efter Rum og Tid. Naar vi f. Eks. ved et Væddeløb finder, at en Rytter er 58 Sekunder om at tilbagelægge en Kilometer, saa er det, vi virkelig iagttager, den Kendsgerning, at Rytteren passerede, d. v. s. for vort Øje faldt sammen med, et vist Udgangsmærke, samtidig med at vi satte vort Stoppeur i Gang, saa at Viseren begyndte sin Vandring fra Urets Nulmærke, og endvidere, at Viseren faldt sammen med et vist andet Mærke paa Uret i det Øjeblik, da Rytteren passerede Endepunktet af Kilometerstrækningen (nøjagtigere sagt, at Lysbud om disse to Begivenheder naar vort Øje i samme Øjeblik). At denne Strækning er en Kilometer, vil blot sige, at den kunde deles i 1000 Stykker, hvis to Endepunkter samtidig kunde bringes til Sammenfald med hver sit Endepunkt af en Metermaalestok. Og at Tiden for Løbet er 58 Sekunder, vil f. Eks. sige, at den kan deles i 58 Tidsrum, betegnede paa Urskiven ved Mærker, som Viseren kunde passere et for et samtidig med hvert af 58 paa hinanden følgende Slag af et Sekundpendul paa et Normalur.

Det er nu indlysende, at hvis baade Metermaalestokken og Hestens Løbestrækning blev dobbelt saa lange, og Hestens Fart samtidig blev dobbelt saa stor, medens Sekundpendulets Svingningstid og Tiden for Urviserens Gang fra et Mærke til

det paafølgende forblev uforandrede, vilde ganske de samme Sammentræf indtræde. Naar vi ikke vidste, at Maalestokken var forlænget, vilde vi stadig udmaale Løbestrækningen til 1 Kilometer og finde, at Rytterens Fart var 1 Kilometer i 58 Sekunder. Naturligvis vilde man straks opdage Maalestokkens Forandring allerede derved, at den nu var blevet længere end En selv. Men tænkte vi os, at alle Længder i Verden blev fordoblede og alle Bevægelser samtidig blev dobbelt saa hurtige*), vilde vi ikke paa nogen Maade kunne opdage det — netop fordi alle „Sammenfald“ af baade bevægede og hvilende Legemer vilde finde Sted ganske som før og paa samme Tidspunkter. Ganske ligesaa vilde det gaa, hvis alle Perioder — Sekundpendulets Svingningstid, Jordens saa vel som alle Urviseres Omløbstid o. s. v. — blev halvt saa lange og alle Bevægelser dobbelt saa hurtige, medens Længderne ikke forandredes, og mere i Almindelighed, hvis alle Længder forandredes i et Forhold, og alle Tider for Bevægelser mellem to bestemte Mærker i samme eller et andet Forhold. Vi maa dog herved forudsætte, at Forandringerne ikke blot rammer den fysiske Verden, men ogsaa vort Bevidsthedsliv, saa at Forestillingernes Vekslen, Tankernes Forløb o. s. v. bliver dobbelt saa hurtig, da vi ellers vilde faa et Indtryk af, at det ydre Verdensløb blev hurtigere; men da vort Bevidsthedsliv er paa det nøjeste forbundet med de fysiske Processer i vor Hjerne, tør vi gaa ud fra, at det vilde følge med i den forandrede Takt, og under denne Forudsætning vilde vi slet ikke mærke noget til, at den var blevet en anden.

Vi kan godt sige, at det er den heller ikke. Saadanne Forandringer, der rammer alle Længder og Tider ligeligt,

*) Dermed vilde Sekundpendulets Svingningstid og alle andre Perioder som kan bruges til Tidsbestemmelse — f. Eks. Jordens Omløbstid (Døgnet) — forblive uforandrede; thi da Pendulets Længde fordobles, skal alle Dele af det jo netop bevæge sig dobbelt saa hurtigt for at fuldføre Svingningen mellem de to Yderstillinger i samme Tid som før

saa at det er umuligt at opdage dem, er blot Fantasifostre; vi kan slet ikke forbinde nogen Mening med at sige, at de *virkelig* er foregaaede. Vi kan overhovedet kun sammenligne Længder eller Tider — maale en Længde med en anden, et Tidsrum med et andet, men ikke tænke os dem af „absolut Størrelse“.

Vi kan imidlertid gaa et Stykke videre, idet vi tænker os Længder paa forskellige Steder forlænget eller forkortet ulige meget. Hvis blot alle Længder og alle Hastigheder *paa samme Sted* forandres i samme Forhold, vilde en saadan Fortrækning af Verden ikke mærkes af os. Vi kan bedst forestille os en saadan Fortrækning ved at tænke paa et Hulspejlbillede af et eller andet Parti. I Billedet er Forholdene mellem de forskellige Afstande helt andre end i det afbildede Parti af Yderverdenen, og vi finder derfor Billedet ganske fortrukket; men baade under Hvile og Bevægelse vil Punkter, der berører hinanden i Yderverdenen, samtidig berøre hinanden i Billedet. Vi har med andre Ord her de samme Sammenfald. Hvis vort Spejlbillede var levende og udmaalte sin Spejlverden samtidig med, at vi udmaalte vor, saa vilde dette Spejlmenneske med sin Spejlmaalestok finde ganske de samme Resultater som vi; thi Maalestokken vilde overalt være forlænget eller forkortet i samme Forhold som de Længder, han udmaalte. Levede man i en saaledes fortrukken Verden, vilde man derfor ikke opdage, at den var fortrukken.

Fig. 12 illustrerer en tilsvarende Fortrækning paa anden Maade. Paa en plan Gummiplade er tegnet to Sæt paa hinanden vinkelrette Linier, der danner et Net af Smaakvadrater, hvis Sider f. Eks. kan forestille en Meter. Dersom man nu spiler Gummipladen ud paa en eller anden vilkaarlig Maade som vist i Fig. 13, vil vi se, at Kvadraterne fortrækker sig, at Meterstykkerne faar ulige Længde og at Linieskæringspunkter, der før laa paa en Cirkel eller en ret Linie, nu kommer til at danne helt andre Linier. Lad os tænke os, at der paa Pladen boede ganske flade Væsner, som kun havde

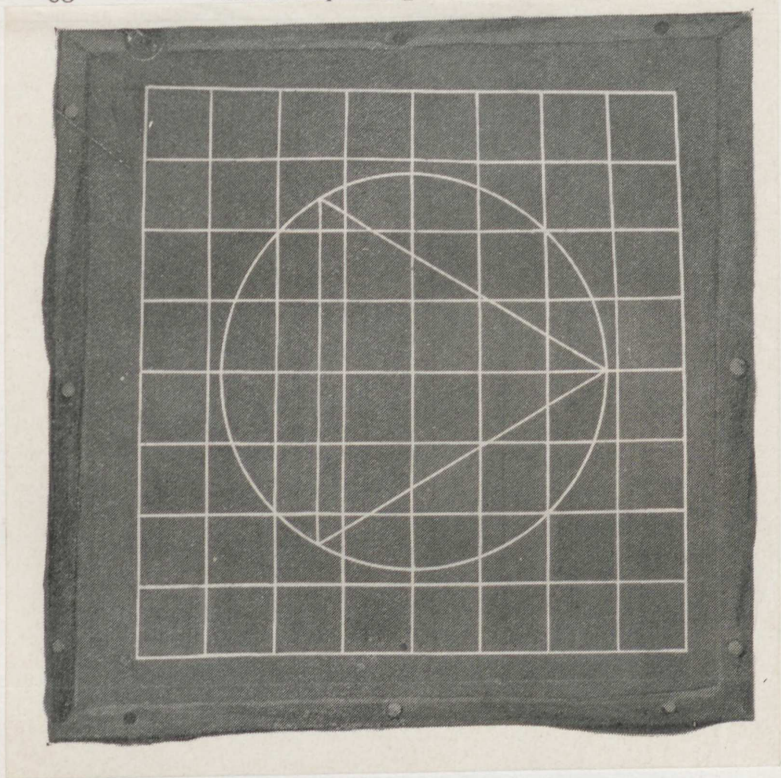


Fig. 12. En plant udspændt Gummiplade.

Udstrækning efter Fladen, men ikke vinkelret paa den, og at de heller ikke kunde se uden for Pladen. Dersom disse „todimensionale Væsner“ — uden at mærke det — blev strakt sammen med Pladen, og deres Maalestokke og andre Genstande ligeledes blev strakt i samme Forhold som Pladen det paagældende Sted, saa vilde de stadig anse de oprindelige rette Linier, Kvadrater, Cirkler o. s. v. for at være rette Linier, Kvadrater og Cirkler. Intet vilde røbe dem det ydre Indgreb, der var gjort i deres „Gummiverden“; for dem vilde det slet ikke eksistere.

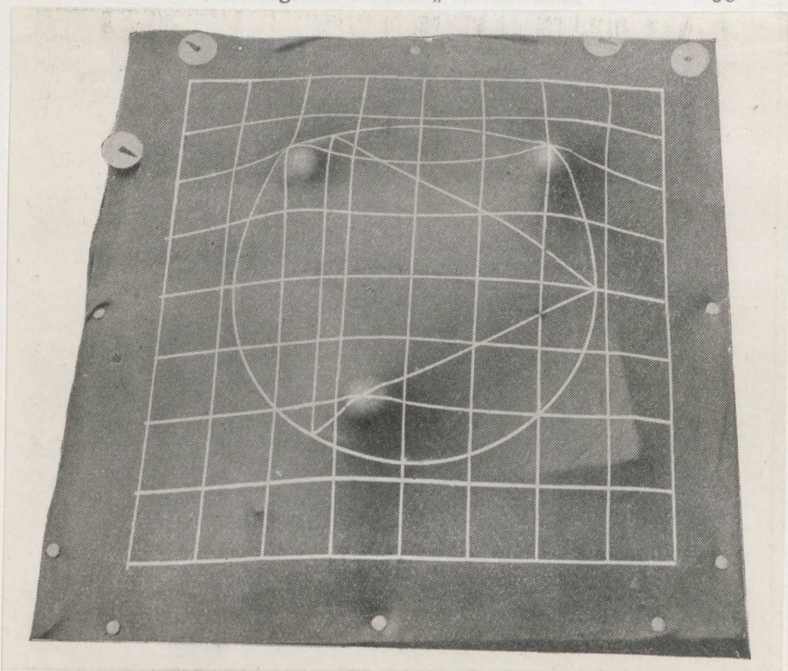


Fig. 13. Samme Gummiplade udspilet paa tilfældig Maade.

Her som i det foregaaende Eksempel med Hulspejlet er det dog forudsat, at Hastighederne af alle Bevægelser paa forskellige Steder er ændret i samme indbyrdes Forhold som Længderne, saa at alle Perioder forbliver uforandrede eller i alt Fald kun er ændret alle i et og samme Forhold. Der er imidlertid intet til Hinder for, at vi kunde tænke os baade Perioder og Længder ændrede paa ganske vilkaarlig Maade paa forskellige Steder og til forskellig Tid, naar Bevægelsernes Hastighed paa ethvert Sted og til enhver Tid var ændret paa tilsvarende Maade. En anskuelig Illustration hertil kunde vi faa ved at føre et Sæt rette Linier vinkelret op fra Gummipladen, afsætte Tiden paa dem og indføre bevægede Legemers Rum-Tidslinier i denne tredimensionale Fremstilling

som beskrevet S. 61. Tænker vi os nu i Stedet for Gummi-pladen en Gummiterning, hvis Underflade svarer til Gummi-pladens Tegneflade, og de lodrette Linier samt Rum-Tids-linierne indlagt i Terningen, f. Eks. som Traade, der var indlejrede i Gummien, saa har vi den anskuelige Model, vi har Brug for. Klemmer og vrider vi Terningen paa forskellige Maader, vilde vi, om Gummien var gennemsigtig, se Traadene (der ogsaa forudsættes elastiske) forandre Form paa indviklet Maade; men alle Sammenfald, d. v. s. alle Linieskæringer bevares, og de flade Væsner, der lever paa Terningens Underflade, vil derfor gøre ganske de samme Erfaringer som før og ikke mærke Vridningen.

Einstein tænker sig alt, hvad der foregaar i vor tredimensionale Verden, indført paa tilsvarende Maade i Minkowskis firdimensionale Rum-Tidsfremstilling af Verdensløbet, hvor der da ogsaa kan tænkes at foregaa tilsvarende Forvridninger, uden at de kunde opdages af os. Men som tidligere anført svigter Anskueligheden her; vi maa nøjes med Analogier og matematiske Udtryk.

De i det foregaaende udviklede Betragtninger kan paa ingen Maade siges at være helt nye. Eksemplet med Hulspejlsbilledet er saaledes klart fremstillet af den tyske Fysiker Helmholtz for mange Aar siden. Einstein (og Minkowski) har dels tydeligere paapeget Tidslængdens Ligestilling med Rumstørrelser i disse Henseender, dels givet det, der er Kernen i Sagen, et særlig klart Udtryk ved at fremhæve, at Sammenfald i Rum og Tid er det eneste, vi kan iagttage; men noget for vor Opfattelse af Rum- og Tidsforholdene revolutionært nyt var der i og for sig ikke heri.

Det er nemlig kun for den ganske naive Opfattelse, at Størrelsen af Længder og Tidsrum staar som noget absolut. For en noget dybere Opfattelse er den Erkendelse ikke fremmed, at de kun har relativ Betydning, og at vi ikke kan forbinde anden Mening med Ligestorhed af Længder og Tider end den,

at vi ved Sammenligninger *finder* dem lige store. Det, der kendetegner vor naturlige Rum- og Tidsopfattelse, er de Grundprincipper, hvorefter vi udfører disse Sammenligninger, og paa Grundlag af hvilke vi indordner alt det iagttagne efter Rum og Tid i vort Verdensbillede. Disse Grundprincipper vil vi imidlertid bedst forstaa, naar vi søger at gøre os klart, hvorledes vor Rum- og Tidsopfattelse opstaar.

Hvad der umiddelbart træder frem i vor Bevidsthed, er kun Fornemmelser af forskellig Art — samt de mer eller mindre afblegede og ændrede Erindringsgentagelser af disse (Forestillinger). Disse Fornemmelser glider gennem Bevidstheden i en vis Orden, den, vi kalder *Tidsfølge*. Overfor Paastande om, at Tiden saa vel som Rummet skulde miste sin Selvstændighed ved de nyere fysiske Teorier, er det godt at være opmærksom paa, at vor Forestilling om selve Fornemmelsernes Tidsfølge er uafhængig af Forestillingen om en rumlig Yderverden og har dybere Rødder i vor Bevidsthed end denne Forestilling, som kun dannes langsomt gennem et omfattende Studium, vi driver allerede i Vuggen. Et Studium kan vi kalde det, fordi Barnet ikke nøjes med rent modtagende eller passivt at lade Fornemmelsernes Strøm glide, som den selv vil, men griber aktivt ind i den ved Muskelbevægelser, snart fastholdende visse Fornemmelsesgrupper (som naar det lader Blikket følge en bevæget Genstand, der uden Øjemusklernes Bevægelse hurtigere vilde glide ud af Synsfeltet), snart vilkaarligt ændrende Fornemmelserne paa forskellige Maader (som naar det slaar til, vender eller drejer en Genstand).

Det er naturligvis umuligt i Enkelthederne at gøre Rede for, hvorledes der herved af Berørings- og Fornemmelsernes forvirrende Vrimmel og af Synsbilledets brogede, vekslende Mo-saik efterhaanden opstaar en ejendommelig farvet Helhedsforestilling om et „tredimensionalt Rum“, hvor ethvert betragtet materielt Punkt i et givet Øjeblik har sin bestemte Plads i Forhold til andre materielle Punkter, medens dette „Verdens-

billede“ ændrer sig fra Tidspunkt til Tidspunkt. Der kan imidlertid ikke være Tvivl om, at de faste (d. v. s. stive) flyttelige Legemer spiller en Hovedrolle ved denne Udvikling.

De giver os ikke blot, som andetsteds fremhævet, Forestillingen om Stoffet som noget, der brat standser Bevægelser, men de giver os ogsaa Grundlaget for vore klare Forestillinger om Form og Størrelse. Bl. a. er det ved Flytninger af faste Legemer, vi faar et haandgribeligt Grundlag for den Forestilling, at to Punkter har samme indbyrdes Afstand som to andre. Kan vi ved at flytte et Legeme A bringe to bestemte Punkter paa det i samtidigt Sammenfald med hver sit af andre Punktpaar, først paa et Legeme B, saa paa et Legeme C o. s. v., siger vi, at alle disse Punktpaar har samme Afstand. Er det flyttelige Legeme en Metermaalestok, de to Punkters Endepunkter, udmaaler vi paa denne Maade Meterlængder paa de andre. Gentager vi med lange Mellemrum Sammenligningerne, finder vi, at Sammenfaldene stadig kan tilvejebringes, og vi siger da, at Afstandene er uforandrede.

Undersøgelser af denne Art vil dog, i alt Fald naar de foretages med større Nøjagtighed, ofte give det Resultat, at Afstande, der en Gang fandtes lige store, findes at være lidt forskellige en anden Gang. Vi siger da, at i det mindste en af de to sammenlignede Afstande har forandret sig. Saa finder man imidlertid, at der er sket en eller anden Forandring med det ene Legemes Omgivelser. Det var maaske en Stang, som før laa paa et Bord, men nu kun er støttet ved Enderne; eller Stangen kan være lagt paa en hed Kakkelovn. Man sætter da den Omstændighed, at Maalestokken og Stangen ikke som før findes lige lange, i Forbindelse med de forandrede ydre Forhold, — man siger, at Stangen er blevet forandret ved en ydre Indflydelse, og at denne er „Aarsag“ til Forandringen; i de anførte Eksempler er Stangen henholdsvis blevet bøjet af sin Vægt og opvarmet af Kakkelovnen. Paa Grundlag af utallige Erfaringer af lignende Art lærer man med større eller mindre Sikkerhed at forudsige Indtrædelsen af Forandringer,

og i Fysikken opstiller man bestemte Love, hvorefter de kan forudsiges med stor Nøjagtighed. Selve Maalestokkene er underkastet de samme Love, og man tager saa ved Maalinger de af Lovene udledede Forandringer i Beregning; man regner ikke Maalestokkens Længde for 1 Meter undtagen under visse vedtagne ydre Forhold, men indfører under andre Forhold en Rettelse eller „Korrektion“. Vi behøver da ikke at opretholde Forestillingen om nogle Legemer som „faste“ i Betydningen uforanderlige; men det er en umaadelig Lettelse for vor Orientering i Yderverdenen og Udledelsen af de fysiske Love, at vi i Naturen forefinder Legemer, der er meget nær dette Ideal, saa at vi ved de første grove Sammenligninger stadig faar ens Resultater; og man vil til Maalestokke vælge Stof som er „meget fast“, d. v. s. saaledes beskaffent, at vi selv ved stærke ydre Paavirkninger kun behøver at indføre meget smaa Korrektioner og i mange Tilfælde helt kan undgaa dem.

Ved at gaa frem paa denne Maade opnaar man i stedse højere Grad, at Maalinger udførte af forskellige Iagttagere og under forskellige Forhold fører til samme Resultater. Viser det sig, at der bliver Uoverensstemmelser, gaar vi ud fra, at der enten er en Mangel ved de opstillede fysiske Love eller, at der findes en eller anden hidtil overset Aarsag, som vi da eftersporer, og som i alt Fald er principielt iagttagelig, d. v. s. vilde kunne paavises, om vore Iagttagelsesmidler var tilstrækkeligt udviklede. Dette er et Grundprincip for den fysiske Forskning, som derved i Virkeligheden kun fortsætter ad de Veje vi følger ved vor umiddelbare, naturlige Opbygning af det rumlige Verdensbillede.

Vi har her foreløbig tænkt os, at vi kunde foretage alle Sammenligninger af Afstande under Hvile, d. v. s. at vi kunde lade de Punktpar, hvis Afstande bestemtes som lige store, være i Sammenfald saa længe, det ønskes. For at overbevise sig om, at der er Sammenfald samtidig ved de to Ender, behøver man under disse Omstændigheder ikke just at iagttage Sammenfaldene paa to forskellige Steder af Rummet i samme

Øjeblik; naar man blot kan konstatere Sammenfaldene skiftevis det ene og det andet Sted, tør man gaa ud fra, at de ogsaa er til Stede i Mellemtiden mellem Iagttagelserne, og altsaa indenfor et vist Tidsrum er samtidig til Stede. — Drejer det sig derimod om at maale Afstanden mellem Punkter, der er i indbyrdes Bevægelse eller mellem Punkter paa faste Lege-mer, der bevæges forbi Maalestocken under Maalingen, maa vi kunne bestemme Samtidigheeden af „Øjeblikssammenfald“ paa forskellige Steder af Rummet, og dette er en mere sammensat Opgave (smlgn. S. 39). Vanskeligheden ved den tilsløres derved, at vor vigtigste Budbringer om Begivenhederne i Omverdenen, nemlig Lyset, løber med en saa uhyre Fart, at vi praktisk talt kan regne, at alle de jordiske Begivenheder, vi ser, foregaar samtidig med, at „Lysbuddet“ om dem naar vort Øje. Tidsfølgen af disse Begivenheder i Yderverdenen kan altsaa regnes for den samme som den umiddelbart erfarede Tidsfølge af de tilsvarende Fornemmelser. Men naar vi udstrækker vor Undersøgelse af Verden til fjerne Kloder, maa vi, selv med Lyset som Budbringer, regne med, at de iagttagne Begivenheder finder Sted paa et andet Tidspunkt end Iagttagelsen — for Fiksstjernernes Vedkommende Aar forud —, og hurtigere Budbringer end Lyset eksisterer ikke. (Som tidligere antydet nærer Fysikerne nu den Anskuelse, at en større fysisk Budhastighed end Lyshastigheden overhovedet ikke eksisterer; mange har vel tidligere ment, at man maatte tilskrive Tyngdekraften en Forplantningshastighed langt større end Lysets; men dette erkendes nu at bero paa Fejlsyn). Skal vi dog kunne henhøre Begivenheden til det rette Tidspunkt, maa vi kende Lysets Hastighed; men for at bestemme den maa vi maale baade Længder og Tider. Vi ser saaledes, at allerede den rumlige Indordning i et givet Øjeblik — og naturligvis end mere den hele Rum-Tidsindordning — kræver Maaling ikke blot af Afstande, men ogsaa af Tider.

Ved Tidsmaaling eller Sammenligning af Tidslængder spiller nu *de periodiske fysiske Processer*, d. v. s. saadanne, som

gentager sig uforandret Gang paa Gang, en Rolle, der svarer ganske til den, de faste Legemer spiller ved Afstandsmaaling. Eksempler paa naturlige Processer af saadan Art har vi i det store i Jordens og de andre Planeters Omdrejning om deres Akser og i deres Omløb om Solen og i det smaa i de forskellige Lysstraalers Svingningsperioder. Vi søger kunstigt at tilvejebringe saadanne periodiske Processer i vore Ure, som vi bruger til Tidsmaaling ligesom Maalestokke til Længdemaa-ling. Naar forskellige Ure er anbragt „paa samme Sted“, d. v. s. saa nær hinanden, at vi fuldstændig kan se bort fra den Tid, Lyset (eller elektriske Signaler) bruger til at gaa Vejen imellem dem, kan vi sammenligne deres Viseres Stand og Længden af deres Perioder, f. Eks. de Tider, Viserne bruger om at gaa en Inddeling frem eller hele Skiven rundt. Finder vi en Gang, at to eller flere Ure følges nøjagtigt ad en vis Tid, og at de ogsaa længe efter, og efter at man har flyttet om med dem, stadig stemmer nøjagtigt overens, anser vi dem for gode Ure med uforandrede Perioder, og vi kan da bruge dem til Sammenligning af Tidslængder paa vidt forskellige Steder og til vidt forskellig Tid eller til at bestemme Samtidighed paa forskellige Steder (som Sømanden, der ved sit medførte Kronometer langt ude paa Havet kan bestemme Klokkeslettet efter Greenwich Tid).

Dersom to Ure, som en Gang fulgtes nøjagtigt ad, en anden Gang ikke gør det, gaar vi ud fra, at i det mindste det ene af dem har faaet sin Periode forandret, forbigaaende eller varigt, og at det er en eller anden Indflydelse — Snavs i Værket, Rystelser, Temperaturændring o. s. v. — der er Aarsag til Forandringen. I Sammenligning med Maalestokkes Uforanderlighed er dog selv de bedste kunstige Ures kun ringe, og vi sammenligner derfor hyppig deres Perioder med det store Natururs, den omdrejende Jords Periode, Døgnet. Men vi forudsætter heller ikke, at denne Periode er absolut uforanderlig; vi antager, at den saa vel som de andre astronomiske Perioder forandres i Henhold til fysiske Love. Kende-

tegnet paa, om de Love, vi har opstillet, er rigtige, ser vi deri, at de af dem udledede Forandringer i de forskellige Perioders indbyrdes Forhold stemmer med Erfaringen. Man ser, at vi ved Tidsmaalingen følger en ganske lignende Grundsætning som ved Længdemaalingen.

Vor naturlige Rum- og Tidsopfattelse gaar nu i Virkeligheden ikke ud paa andet end, at vi ved at følge de antydede Grundprincipper eller med andre Ord ved at fortsætte videre og videre ad de naturlige Veje, vi har fulgt ved Dannelsen af vort Verdensbillede, vil kunne arbejde os længere og længere frem mod en entydig Indordning af alt det iagttagne efter Rum og Tid. Der ligger heri, at enhver Uoverensstemmelse mellem Indordninger fundne af forskellige iagttagere og under forskellige Forhold, beror paa Mangler ved Iagttagelserne eller ved de opstillede fysiske Love. En anden Sag er det, at der naturligvis i Praksis vil forblive mange uopklarede Uoverensstemmelser, og at det ofte kan være bekvemt for et begrænset Omraade at blive staaende ved en Indordning, vi erkender som ufuldkommen.

At vi kan *tænke* os en Fortrækning eller Forvridning af Verdensbilledet, idet vi tænker os Længder og Tider ændrede paa en saadan Maade, at alle Sammenfald bevares, og ved Aarsager, som er absolut utilgængelige for vor iagttagelse, strider ikke mod denne Rum- og Tidsopfattelse; thi saadanne Forandringer har ingen Betydning for os; dem kan vi betragte som ikke eksisterende.

Den oprindelige Relativitetsteori brød imidlertid med denne Rum- og Tidsopfattelse, idet den slog sig til Ro med forskellige indbyrdes uoverensstemmende Rum- og Tidsindordninger; men ved Erkendelsen af, at Bevægelsen i Forhold til „den feltdannende Verden“ er den fysiske Aarsag til Ures og Maalestokkes Uoverensstemmelser og at dens Indflydelse i Følge de almindelige fysiske Grundprincipper skal tages med i Beregning, genindsættes den naturlige Rum- og Tidsopfattelse i sine Rettigheder.

V. EINSTEINS ALMENE RELATIVITETSTEORI OG DEN EUKLIDISKE GEOMETRI

Naar en Sporvogn eller Jærnbanevogn sættes i Gang eller i det hele taget faar forøget Fart, vil Passagerer og Ting i Vognen faa Tilbøjelighed til at rutsje tilbage i Vognen; støtter de mod Bagvæggen, vil de øve forøget Tryk paa denne; havde man ophængt en Lodsnor i Vognen, vilde den stille sig i en Retning skraat bagud. Alt dette forklares ved, at Delene i Vognen ikke af sig selv antager Vognens voksende Fart, men maa trykkes eller trækkes frem af den. Vi kan imidlertid sige, at Tingene i Vognen opfører sig, som om der foruden den fra Jordens Tiltrækning hidrørende Tyngdekraft var opstaaet en bagud rettet Tyngdekraft, eller med andre Ord, at der ved Hastighedsvæksten frembringes et tilsyneladende Tyngdefelt med Tyngderetningen modsat Hastighedsvækstens. Bremses Vognen, frembringes der et tilsyneladende Tyngdefelt bagud. Falder en Elevator i en Elevatorskakt, vil der, idet dens Hastighed nedad forøges, opstaa et opadrettet tilsyneladende Tyngdefelt, og hvis Faldet ikke var hemmet af Luftmodstand og andet, men fuldstændig frit, vilde dette tilsyneladende Tyngdefelt være nøjagtigt ligesaa stærkt som Jordens nedadrettede, saa at Tyngdekraften vilde synes fuldstændig ophævet i den faldende Elevator. Personer inde i denne vilde ved det sagteste Tryk mod Gulvet skille sig fra dette og stige mod Loftet, Ting, de „tabte“ ud af Haanden, vilde ikke falde, alle fra Tyngden hidrørende indre Tryk i deres Legeme vilde være ophævede o. s. v. Det er, som om Elevatoren hvilede eller bevægede sig jævnt i et Rum uden Tyngdekraft. Denne Ophævelse af Tyngdetrykkene ved frit Fald kan paa en simpel Maade illustreres ved det lille Apparat, som er vist i Fig. 14. I Bunden af et Vandglas er — f. Eks. med Frimærkepapir, som ferniseres til Beskyttelse mod Vandet — fæstet den ene Ende af en svag Spiralfjeder, til hvis øverste

Ende er fæstet en Prop. Derefter er der hældt Vand i Glasset, og Opdriften paa Proppen bringer da denne til at stige og stramme Fjederen. Holder man nu dette Glas højt til Vejrs og lader det falde, vil alle de Tryk i Vædsken, som skyldes Vædskens Vægt, og dermed Opdriften, omtrent helt forsvinde, og Proppen vil af Fjederen trækkes ned til sin gamle Plads.

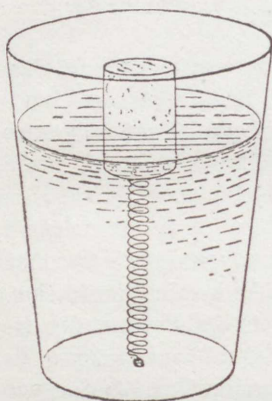


Fig. 14. Glas til Faldforsøg.

Hvad tunge Tings Bevægelser og Tryk angaar, er alt dette en simpel Følge af Newtons Love. Men for Lysets Vedkommende stiller Sagen sig anderledes. Under Forudsætning af, at Lyset gaar i rette Linier, vil en Lysstraale, der fra en Lysgiver A ved den ene Væg af en Elevator (Fig. 15) udsendes vinkelret paa Væggen, træffe Punktet B lige overfor paa den modsatte Væg, naar Elevatoren er i Hvile; men dersom den falder i Skakten, vil Punkterne A

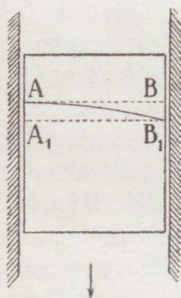


Fig. 15. Lysets Gang i en faldende Elevator.

og B, medens Lyset gaar fra Væg til Væg, falde et, rigtignok meget lille Stykke til Stillingerne A_1 og B_1 , og den fra A udsendte Lysstraale vil derfor ramme et Punkt, der før laa lidt højere paa Modvæggen. Man vilde da ved tilstrækkelig nøjagtige Iagttagelser inden i Elevatoren kunne erkende, at denne falder i Jordens Tyngdefelt og ikke bevæger sig frit i et Rum uden Tyngdekraft. Antager vi derimod, at Lysstraalerne krummer sig nedad i Jordens Tyngdefelt netop saa meget, som om Lyset havde Vægt og fulgte med i Faldet, saa vilde den, som antydtes ved den krumme Linie i Figuren, træffe Modvæggen lige overfor Lysgiveren, idet den naar til B_1 samtidig med B. Virkningen

af Jordens Tyngdefelt vil da ogsaa i denne Henseende netop ophæves ved det frie Fald eller med andre Ord af det ved Hastighedsforøgelsen nedad opstaaede opadrettede Tyngdefelt.

Under den videre Udvikling af sin Relativitetslære gjorde Einstein nu den Antagelse, at de ved Hastighedsforandringer opstaaede tilsyneladende Tyngdefelter i *alle* Henseender er „ækvivalente med“ de virkelige, der hidrører fra Kloders Nærhed, d. v. s., at man ikke ved nogen Iagttagelser indenfor det bevægede System (f. Eks. Elevatoren) kunde skelne mellem dem. Det maa dog bemærkes, at det bevægede System skal være saa lille, at man kan regne den fra Kloden hidrørende Tyngdekraft for ens paa forskellige Steder af det. — Einstein er tilbøjelig til at udtrykke sig, som om den Forskel mellem de to Slags Tyngdefelter, som vi har betegnet med Ordene virkelig og tilsyneladende, slet ikke eksisterede, og dette har voldt en Del Forvirring; men det drejer sig herved kun om Udtryksmaader. Der kan jo dog ikke være Tvivl om, at en Person i Elevatoren, hvis han kan se uden for denne, kan iagttage, at han ikke svæver ude i Rummet fjernt fra alle Kloder, men styrter ned mod Jorden, og i det Øjeblik, da Elevatoren naar Bunden af Skakten, bliver han paa en højst alvorlig Maade underrettet om den tiltrækkende („felddannende“) Klodes Tilstedeværelse. Den reelle Betydning af Einsteins Antagelse ligger imidlertid deri, at man ud fra den kan drage vigtige Slutninger om fysiske Forhold.

Først og fremmest kan man slutte, at Lyset maa krumme sig i Tyngdefelter; vi saa ved Elevatoren, hvorledes man føres til denne Slutning. Ved en anden Slutning, som vi ogsaa kan give et Begreb om, benyttes den saakaldte Dopplervirkning.

Lad os antage, at en Mand staar tæt ved en Banelinie, og at et Tog, der kommer imod ham, netop bruger Dampfløjten. Denne udsender en Række Luftbølger, bestaaende af Fortætninger og Fortyndinger i Luften, og Tonhøjden bestemmes af det Antal Luftbølger, Øret modtager i Sekundet. Men idet

Toget farer frem mod Manden, vil han faa flere Luftbølger i Sekundet, end om det stod stille, fordi hver ny Luftbølge faar en kortere Vej at gaa end den foregaaende, saa at Tiden mellem to efter hinanden indtræffende Fortætninger forkortes lidt. Følgen heraf er, at Manden hører en lidt højere Tone. Passerer Toget nu forbi Manden, medens det stadig fløjter, vil Tonen, idet Toget fjerner sig fra ham, blive lavere af en tilsvarende Grund; han vil altsaa høre en ret brat Nedgang i Tonhøjden under Forbifarten (En musikalsk Fysiker kan af en saadan Iagttagelse udregne Togets Hastighed). Det var Fysikeren Doppler, der først gjorde Rede for disse Virkninger, som derfor benævnes efter ham. Disse Virkninger træffer vi ogsaa ved Lysbølgerne. Naar en Stjerne nærmer sig til Jorden, bringer Straalerne fra den os flere Lysbølger i Sekundet, end den udsender i samme Tid; dette vil bevirke, at Linierne i Stjernens Spektrum forskydes lidt i Retning fra Spektrets røde til dets violette Ende, fordi violet Lys svarer til flere Lysbølger i Sekundet end rødt. Vi kan ved disse Forskydninger, der kan opdages ved Sammenligning med Lys fra jordiske Lyskilder, erkende, hvor hurtigt en Stjerne nærmer sig til os eller fjerner sig fra os.

Vi vil nu vende tilbage til det fløjtende Tog og antage, at Manden staar ikke ved Banelinien, men paa Toget, saa at han følger med i Fløjtens Bevægelse. Dopplervirkningen udebliver da, naar Farten holder sig uforandret; men sættes Farten op, vil Lokomotivet med Fløjten have lidt ringere Hastighed, naar Lyden udsendes, end Manden i Togets Bagende paa det Tidspunkt, da han modtager den; thi Togets Fart vokser jo i Mellemtiden; Forholdet vil blive, som om Manden løb Tonen i Møde, og den vil derfor høres højere; Forskellen vilde være des større, jo længere Afstanden fra Fløjten til Manden er. Paa tilsvarende Maade skulde det gaa, om Lysstraaler fra en Lysgiver i Togets Forende blev opfanget af en Mand i dets Bagende ved et Spektroskop, der bredte det ud til et Spektrum; Linierne i dette skulde da, om det var muligt at iagttag

nøjagtigt nok, findes forskudt mod Spektrets violette Ende, naar man sammenlignede Lyset med Lys fra en Lysgiver i Togets Bagende.

Dette kan nu overføres paa den faldende Elevator. Tænkte man sig her anbragt en Lysgiver ved Bunden, en Mand med et Spektroskop foroven, skulde han paa Grund af Hastighedsforøgelsen se en Dopplervirkning, hvorved Spektrallinierne forskydes mod det violette. Men efter Einsteins Lov maa en saadan Virkning af Hastighedsforøgelsen ikke vise sig; den skal ligesom alle andre Virkninger ophæve og ophæves af en Virkning af Jordens Tyngdefelt. Dette maa da for sig taget give en Forskydning af samme Størrelse mod Spektrets røde Ende, en Forskydning, Manden skulde kunne opdage, naar Elevatoren holdtes stille i Skakten. Da han skal finde en saadan Forskydning, naar han ser mod et lavere Punkt, kan vi slutte, at dybere nede i Feltet, der, hvor Tyngdefeltet er stærkere, skal Lysgivere udsende „rødere“ Lys, d. v. s. færre Lysbølger i Sekundet; Lyssvingningerne maa med andre Ord blive langsommere nærmere ved en Klode.

Naturligvis kan Undersøgelserne i Virkeligheden ikke udføres, som vi her har tænkt os det. Ikke alene er en frit nedstyrtende Elevator i højeste Grad uegnet til Laboratorium for fredelige fysiske Forsøg, men de Spektralforskydninger og Lyskrumninger, hvorom det drejer sig, vil i det hele taget under de smaa jordiske Forhold være saa ubetydelige, at det er ganske haabløst at forsøge paa at paavise dem. En kendelig Indvirkning paa Spektrallinierne kan kun ventes af store Kloeder som Solen og de største Fiksstjerner, og selv der er den som nævnt i Indledningen saa ringe, at der endnu ikke er naaet sikre Resultater.

Hvad Lysstraalernes Krumning angaar, er den som anført paavist for Straaler, der kommer fra Fiksstjerner og passerer tæt forbi Solen. Krumningen er imidlertid dobbelt saa stor som den, der umiddelbart synes at fremgaa af de foregaaende Betragtninger, og som Einstein ogsaa oprindelig var kommet til.

Under den fortsatte Udvikling af sin Lære naaede han imidlertid til den Erkendelse, at Forholdene i Feltet om Kloderne var langt mere indviklede end først antaget, og det staaer i Sammenhæng hermed, at Krumningen bliver dobbelt saa stor.

Et stærkt og næsten uhyggeligt Indtryk af, hvor mærkelige Forholdene er, faar man ved den Paastand, at den euklidiske Geometri har mistet sin Gyldighed i Feltet. — Ved den euklidiske Geometri forstaaer man i første Række den af den berømte græske Matematiker Euklid opførte Lærebygning angaaende de geometriske Forhold i en plan Flade, indbefattende alle de almindelig kendte elementære geometriske Sætninger — f. Eks. at to parallelle rette Linier, d. v. s. saadanne, som danner samme Vinkler med en tredie, overskærende Linie, overalt har samme Afstand og derfor kan tænkes forlængede, saa langt det skal være uden at løbe sammen til et Skæringspunkt, at Summen af Vinklerne i en Trekant er lig fire rette, at Forholdet mellem en Cirkels Omkreds og Diameter er et bestemt Tal $\pi = 3,1416 \dots$ o. s. v. I videre Forstand bruger man Betegnelsen om den tilsvarende Lære angaaende de geometriske Forhold i det tredimensionale Rum, og man taler endogsaa om en firdimensional euklidisk Geometri.

For den almindelige Betragtning staaer den euklidiske Geometris Sætninger som klippefaste, og det synes derfor de fleste enten ganske umuligt eller i alt Fald højst mystisk, at Einsteins Lære skulde kuldaste dem. Paa den anden Side er Matematikerne fortrolige med, at man kan opføre sammenhængende ikke-euklidiske Lærebygninger, hvori indgaar Linier, der svarer til, hvad man i den euklidiske Geometri kalder rette Linier. De geometriske Sætninger, der svarer til de forskellige todimensionale Lærebygninger kan af os tredimensionale Væsner opfattes som henhørende til Flader af forskellig Form. For Kuglefladen gælder der saaledes, idet Storcirkler, d. v. s. Cirkler med Centrum i Kuglens Centrum, repræsenterer de rette Linier (eller de „rette“ Linier), et Sæt geometriske Regler, der afviger fra den todimensionale

euklidiske Geometris — Plangeometriens; en Trekant paa Kuglefladen, dannet af tre Storcirkler har saaledes en større Vinkelsum end to Rette. Hvad den tredimensionale Geometri angaar, hersker der større Uenighed om Opfattelsen af de ikke-euklidiske Reglers Betydning. Det, som her interesserer os, er imidlertid blot den euklidiske og ikke-euklidiske Geometris Forhold til Fysikken.

Som vore rumlige Forestillinger i det hele taget har den euklidiske Geometri sit Udspring i vore Erfaringer med faste flyttelige Legemer. En ret Linie er oprindelig en Kant paa en Kasse el. desl.; vi kalder saadanne Kanter rette, naar de kan glide langs hinanden stadig i Berøring overalt undtagen med det overrørende, og naar Berøringen bevares i alle Punkterne under en Drejning, hvis blot to Punkter holdes i Berøring. Vi erfarer, at de Figurer der opbygges af rette Kanter eller af tegnede Linier o. a., der kan slutte til dem, opfylder de euklidiske Regler. Ganske vist finder vi Afvigelser fra dem; men naar det er gode stive Legemer, vi har med at gøre, bliver Afvigelserne mindre, jo nøjagtigere vi udfører Kanterne, jo tyndere vi tegner Linierne o. s. v. Vi erkender, at de tilbageblivende Afvigelser skyldes Ufuldkommenheder i Udførelse og Maaling, d. v. s. at de beror paa og ændres med Forhold, der i og for sig er Sagens Natur uvedkommende. — Idet ingen Legemer er fuldstændig stive og uforanderlige, men ændres ved Tryk, Temperatur og andre Indflydelser, fremkommer der imidlertid ogsaa herved Afvigelser fra de euklidiske Regler. Men vi gaar ud fra, at naar vi indfører disse Indflydelser i Beregningen, d. v. s. retter vore Maalestokke og Ure for dem, saa skal vi vende tilbage til den euklidiske Geometris Regler, saa at vi finder dem opfyldt saa nøjagtigt, det kan ventes efter Maaleapparatets Konstruktion, efter den Finhed, hvormed vi kan bedømme Sammenfald o. s. v. Er dette ikke Tilfældet, antager vi, at der er Mangler ved de fysiske Love, vi har benyttet, eller at vi ikke har faaet fat paa alle de virkende Aarsager. I denne Forstand kan vi sige, at vor fysiske

Forskning hidtil har hvilet paa et euklidisk Grundlag, og at vor naturlige Rum- og Tidsopfattelse er nøje knyttet til den euklidiske Geometri.

Forholdet belyses klart ved et Eksempel. Den berømte tyske Matematiker og Fysiker Gauss gjorde for mange Aar siden et Forsøg paa at paavise en mulig Afvigelse fra den euklidiske Geometri, idet han herved benyttede Lysstraaler, der skulde være rette Linier, naar de forløber i ensartet Stof. Han opstillede paa tre Punkter — Brocken, Hohehagen og Inselberg — Sigteinstrumenter og undersøgte, om Summen af Vinklerne i den af Sigtelinierne dannede Trekant var nøjagtigt to Rette. Ved Forsøget fandtes nu ingen Afvigelse herfra som ikke lod sig forklare ved Maalingens Usikkerhed. Men lad os tænke os, at man virkelig havde opdaget en Afvigelse, som ikke lod sig forklare paa denne Maade eller ved nogen kendt Indflydelse. I Stedet for straks at opgive den euklidiske Geometri vilde man da naturligt stille sig det Spørgsmaal, om den fundne Afvigelse ikke kunde forklares ved en eller anden hidtil ukendt Indflydelse, f. Eks. af Jordkloden, paa Lysstraalerne. Viste det sig da, at man kunde opstille en saadan Lov for en vis Krumning af Lysstraalerne under Paavirkning af Stofmasser, at man dermed ikke alene kunde gøre Rede for den fundne Afvigelse ved Jordens Indflydelse, men ogsaa finde Loven bekræftet i andre Tilfælde*), saa havde det aabenbart her vist sig som en god og frugtbar Grundsætning for den fysiske Forskning at forudsætte den euklidiske Geometris Gyldighed og søge at finde de fysiske Aarsager og de fysiske Love ud fra dette Grundlag.

Vi staar da overfor det Spørgsmaal, om vi behøver at stille

*) Der bliver overhovedet kun Mening i at tale om fysiske „Love“ derved, at de samme Regler kan anvendes paa forskellige Steder og til forskellige Tider — overalt, hvor vi træffer „fysiske Individer“ (Kloder, Atomer o. s. v.) af samme Art under tilsvarende Forhold. Drejede det sig kun om et enkelt individuelt Forhold, kunde man altid vilkaarligt tillægge faste Legemer saadanne Ændringer, Lysstraaler saadanne Krumninger o. s. v., at man fik de euklidiske Regler tilfredsstillende.

os anderledes overfor den ny Einstein'ske Lære, om den tvinger os til at opgive det euklidiske Grundlag og dermed vor naturlige Rum- og Tidsopfattelse.

Dette Spørgsmaal belyses paa en særlig smuk Maade ved det tidligere fremdragne Eksempel med den roterende Skive (S. 62). Hvis vi uden videre med en Maalestok udmaaler først Skivens Radius og saa dens Omkreds, finder vi — paa Grund af den Lorentz'ske Forkortning af Maalestokken under sidste Maaling — Talforholdet mellem dem større end 2π , og Einstein siger da, at dermed er det allerede bevist, at den euklidiske Geometris Sætninger ikke gælder paa den roterende Skive. Han tilføjer dog, at dette i det mindste er Tilfældet, hvis man regner Maalestokken for lige lang overalt og i enhver Stilling. Efter de almindelige fysiske Grundsætninger skal vi imidlertid netop ikke gøre dette, men indføre en Rettelse af Maalestokken for Lorentz-Forkortningen, og derved kommer vi til det euklidiske Talforhold. Man kunde ønske, at Einstein i en saa vigtig Sag ikke nøjedes med et lille Forbehold, der indføres ligesom i Forbigaaende, næsten som om det i Grunden var overflødigt; men der er overfor det betragtede Eksempel ingen nødvendig reel Modstrid mellem dem, der holder sig til den euklidiske Geometri og dem, der med Einstein forlader den. Einstein foretrækker blot at indføre „en anden Geometri“ i Stedet for at indføre Korrektioner for Indflydelsen af fysiske Årsager.

Der er da al Grund til at tro, at det forholder sig paa lignende Maade med Afgivelserne fra de euklidiske Regler i Klodernes Felter. Det kan i denne Henseende have Interesse at undersøge, om man paa simpel Maade kan bringe den omtalte dobbelte Lyskrumning i Sammenhæng med Einsteins Ækvivalenslov uden at gaa bort fra den euklidiske Geometri. Vi maa dog her nøjes med nogle Antydninger i denne Retning.

Naar en Bevægelse i et ensartet Neutralfelt bringer faste Legemer til at trække sig sammen og fysiske Processer,

f. Eks. Svingninger til at foregaa langsommere, er det rimeligt at antage en lignende Indflydelse af en Flytning fra en Rumegn til en anden, hvor Neutralfeltet er stærkere eller svagere. Der er Grunde til at tro, at vi ved at gaa til Egne med stærkere Neutralfelt, altsaa ind imod en stor Klode som Solen, faar en Sammentrækning af Legemer og en Forøgelse af Svingningsperioder, saa at f. Eks. Lyssvingningerne her bliver langsommere, hvilket sidste stemmer med Einsteins Ækvivalenslov.

Lad os tænke os, at vi har en Bjælke, L Fig. 16, først i et ensartet Felt langt fra alle Kloder, og at vi derefter fører

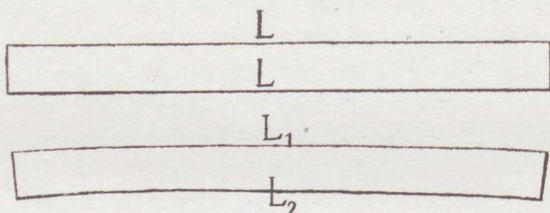


Fig. 16. En Bjælke krummes i en Klodes Felt.

den ind i Nærheden af en Klode og anbringer den her i en Retning vinkelret paa Retningen til Kloden eller med andre Ord paa Tyngderetningen. Den vil da i det hele blive lidt mindre, fordi Feltet her er stærkere; men Siden L_2 , der vender ind mod Kloden, skal forkortes lidt stærkere end den anden Side L_1 , fordi den er Kloden nærmere; men heraf følger, at Bjælken maa krumme sig lidt. Vi kan imidlertid ikke uden videre ved Maalinger opdage denne Krumning (i alt Fald naar Bjælken er meget lille i Forhold til Kloden), fordi Krumningen eller Fortrækningen ogsaa har angrebet Maaleapparaterne. Vi maa altsaa i et Tyngdefelt regne med, at Linier, som vi ved Maalinger finder rette, i Virkeligheden har en ganske svag Krumning.

Vi vil nu vende tilbage til Elevatoreksemplet. Dersom vi ved Maalinger finder, at Elevatoren har en god, regelmæssig

Kasseform, vil den, altsaa i Virkeligheden være noget fortrukken; Bund og Loft vil være svagt krummede, og en Stang, der gaar tværs igennem den fra Væg til Væg, og som vi anser for at være retlinet, er svagt krum, f. Eks. som Linien AB_1 i Fig. 17. Dersom nu Lysstraaler gik i rette Linier i Tyngdefeltet, vilde en Lysstraale, der udsendtes fra A i en Retning vinkelret paa Elevatorvæggen træffe den modsatte Væg i et Punkt B lidt over det Punkt B_1 , som man troede laa lige overfor A, og man vilde da deraf kunde opdage Stangens Krumning (med mindre man antog, at Straalerne krummede opad). Falder nu Elevatoren, saa at Punktet B_1 naar til Stillingen B_2 , medens Lysstraalen gaar fra Væg til Væg, vilde Straalen ramme saa langt som BB_2 over det Punkt, man ansaa for at ligge lige overfor A. Men hvis Einsteins Ækvivalenslov skal være opfyldt, saa at alle Tyngdens Virkninger synes ophævet under Faldet, maa Lysstraalen da krumme saa stærkt, at den naar helt ned til B_2 , altsaa stærkere end det udlededes tidligere, da vi ikke tog Liniernes Krumning med i Betragtning. Ud fra simple Antagelser om Sammenhængen mellem Legemernes Sammentrækninger, Lyshastighedens Størrelse, og Hastighedsvæksten under Faldet, kan man naa til det Resultat, at Lysets Krumning netop bliver det dobbelte af det oprindelig beregnede.

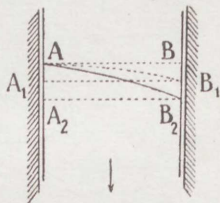


Fig. 17. Lysets Gang i en faldende Elevator.

Einsteins Fremgangsmaade er en væsentlig anden; men man tør dog betegne det ovenfor antydede som en Slags Oversættelse af Einsteins Love paa almindeligt fysisk Sprog, og der er da intet ikke-euklidisk i det.

Vilde nogen spørge, om de Krumninger, som skjuler sig for vore Maalinger, nu ogsaa kan betragtes som reelle, kan man som Svar herpaa anstille en Betragtning af lignende Art som ved den roterende Skive S. 62. Lad i Fig. 18 R være

en mægtig Ring, der i den første Tegning antages at befinde sig i et ensartet Neutralfelt. Vi tænker os den nu flyttet og lagt uden om en Klode K. Den vil derved i det hele blive en Smule mindre, fordi Kloden gør Feltet stærkere; tillige vil hvert Stykke af Ringen nu søge at krumme sig lidt stærkere; men de kan ikke komme til det, fordi de er indføjjet i Ringen,

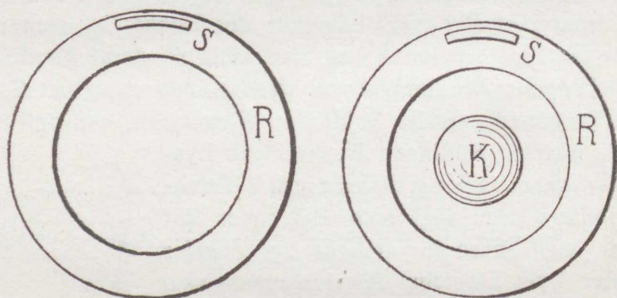


Fig. 18. En Klodes Indflydelse paa en Ring og en Stang.

og Omkredsen i denne kan ikke have stærkere Krumning end den, der svarer til Radius i Cirklen. Men hvis der løst paa Ringen ligger en Stang S, der oprindelig har samme Krumning som Ringen, saa vil den nu som antydnet i den anden Tegning krumme sig lidt stærkere, og man vil da kunne iagttage denne Ekstrakrumning.

Dersom vi ikke nøjes med at betragte Linier og Lysstråler, som er rettet vinkelret — eller omtrent vinkelret — paa Tyngderetningen, men Linier, Stråler og Bevægelser i vilkaarlig Retning, bliver Forholdene langt mere indviklede, og det er derfor f. Eks. vanskeligt at se, hvorledes man fra et euklidisk Synspunkt paa naturlig Maade kan gøre Rede for Drejningen af Merkurbanens Storakse (se S. 10).

Vi vil imidlertid forsøge mere i Almindelighed at give en Antydning af noget væsentligt for Einsteins Teori og dens Forhold til det euklidiske; men vi maa rigtignok herved nøjes med en „Lignelse“.

Vi vil i den Anledning atter tage vor Tilflugt til den „Gummiverden“, vi tidligere har brugt til Illustrering (S. 68). I Fig. 19 har vi spilet en forud plant udspændt Gummiplade ud med en Kugle, saa at en Del af den slutter til denne og danner et Stykke af en Kugleflade. Paa denne har vi tegnet tre hinanden skærende Buer af Storcirkler, der som nævnt S. 82, i „den sfæriske Geometri“ eller Kuglefladens Geometri svarer til rette Linier i den plane Geometri; en Storcirkelbue er saaledes den korteste Linie mellem to Punkter paa Kuglefladen. Da de tre tegnede Storcirkelbuer er lige store, danner de en regelmæssig Trekant; men dens Vinkler er større end Vinklerne i en plan ligesidet Trekant. Vi vil endvidere antage, at der midt i det kugleformede Parti af Gummiverden ligger en „Klode“, om man tør bruge dette Udtryk, da alt er fladt. Hvis Gummipladen var overmaade stor, vilde Udspilingen med Kuglen kun mærkes paa et mindre Stykke; i lang Afstand fra Kuglen vilde Pladen praktisk talt være plan, og her vilde da de korteste Linier være „rigtige“ rette Linier, og her vilde den plane euklidiske Geometri gælde; i Overgangen mellem det plane og kugleformede Parti vilde de korteste Linier hverken være rette Linier eller Cirkelbuer, men have andre Former, og der vilde her gælde andre mere indviklede geometriske Regler. Vi kunde endvidere tænke os, at der ogsaa andre Steder var større eller mindre Udspilinger, og at der i Midten af hvert saadant Parti laa en større eller mindre Klode.

Lad os nu antage, at der for Bevægelsen i denne Gummiverden gælder den simple Lov, at et Legeme, der er overladt til sig selv, d. v. s. ikke støder mod, puffes eller trækkes af andre, overalt, ogsaa i Klodernes Nærhed, vil følge de korteste Linier og bevæge sig jævnt paa dem. Langt fra Kloderne vil de da følge Inertiens Lov, d. v. s. bevæge sig jævnt og retliniet; nær ved Kloderne vil de følge Storcirkelbuer, i Overgangspartierne mere indviklede Baner; men den almindelige Bevægelseslov kan udtrykkes kort og simpelt.

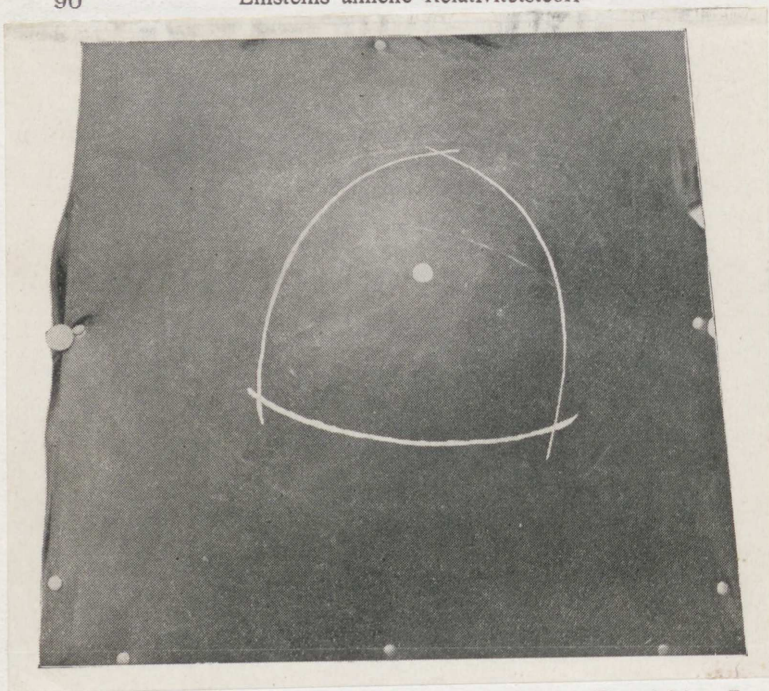


Fig. 19. En Gummiplade udspilet til Illustrering af den Einstein'ske „Forvridning af Rummet“ om en Klode.

Til Beskrivelse af de forskellige geometriske Forhold, man finder ved Udmaalinger i denne Verden, kunde man prøve at opstille matematiske Formler, som gjaldt overalt. Der maatte da i disse Formler indgaa visse Størrelser, som paa forskellige Steder antog forskellige Værdier, der rettede sig efter Afstanden fra Kloderne og disses Stofmængde (deres Masse); langt fra alle Kloder maatte da nogle af disse Størrelser blive Nul, saa at Formlerne her antog den særlig simple Form, som svarede til den plane euklidiske Geometris Regler. At vi i vor Model har tænkt os, at det netop skal være Kuglefladegeometrien, der gælder nær Kloderne, har i og for sig intet med Sagen at gøre. Naturligvis er Udspilingen af Gummipla-

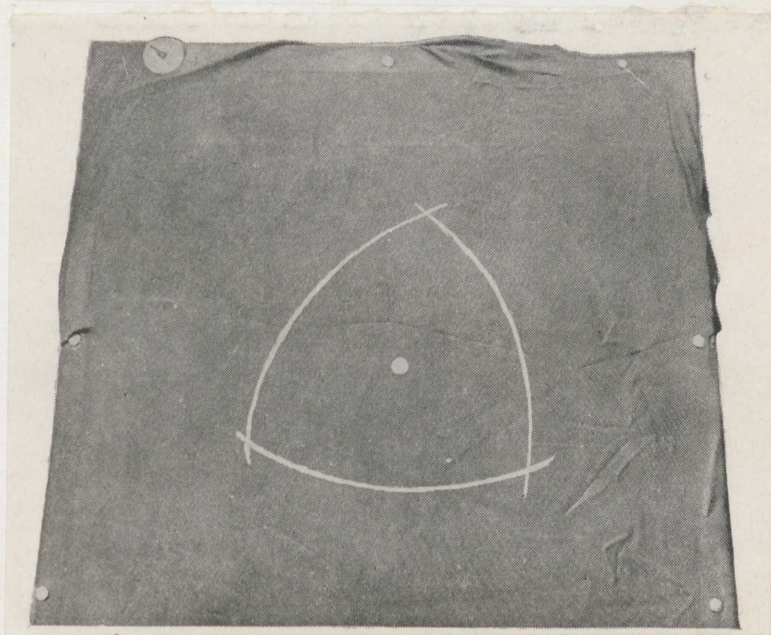


Fig. 20. Gummipladen i plan Tilstand.

den kun et Hjælpemiddel for Anskuelsen, det reelle ved Sagen skulde være, at der omkring Kloderne ved Maalinger findes andre geometriske Regler end de euklidiske; Kloderne skulde selv være de fysiske Aarsager hertil.

Man kan ved dette faa et vist Begreb om et af Hovedprincipperne for den mærkelige Verdensfremstilling, Einstein anvender; men vi maa rigtignok tænke os den todimensionale Gummi verden erstattet af Einsteins firdimensionale Rum-Tidsverden, og den almene Bevægelseslov bliver da, at *et til sig selv overladt Legeme følger den korteste Rum-Tids-Linie eller Verdenslinie* saavel nær Kloderne som fjernt fra dem. Dette betyder slet ikke, at de følger den korteste Linie i Rummet; Loven kan overhovedet ikke anskueliggøres uden ved Analogier. Ikke des mindre er det en overordentlig smuk

Lov. Den har over sig et vist Præg af Hensigtsmæssighed; det er, som om Legemerne vilde slippe frem med den mindst mulige Ulejlighed. Den vil endvidere forekomme Fysikere at have en stor indre Sandsynlighed, idet Legemernes Bevægelser i Klodernes Felter ved den bringes ind under en omfattende fysisk Lov, der kaldes den mindste Virknings Princip. Et Eksempel paa den har vi i den Lov, at en Lysstraale under sin Gang gennem forskellige Stoffer følger den Vej, der tager kortest Tid. Gaar Straalen f. Eks. fra et Punkt i Luft til et Punkt i Vand, følger den en brudt Linie og altsaa ikke den korteste Vej mellem de to Punkter; men under Hensyn til Lysets forskellige Hastighed i Luft og i Vand kan man vise, at den Vej, Lyset „vælger“, tager kortere Tid end nogen anden. En Lov som denne er meget værdifuld og frugtbar, men den gør det ikke overflødigt nærmere at undersøge, hvorledes dette Resultat fremkommer som Følge af Luftens og Vandets Forhold overfor Lysbølgerne. Og saaledes overflødiggør Einsteins Lov heller ikke en Undersøgelse af, hvorledes man kan gøre Rede for dens Resultater ved at behandle Klodernes Indflydelse paa Legemerne efter de sædvanlige fysiske Metoder.

Vi vender atter tilbage til vor Gummiverden, og vi tager nu Kuglen bort, saa at Gummipladen atter bliver plan (Fig. 20). Derved vil Storcirkelbuerne i det kugleformede Parti antage anden Form, men ikke blive rette Linier, og bruger vi nu den plane euklidiske Geometri, idet vi regner lige lange Liniestykker i *Planen* lige lange, vil de altsaa ikke længer være de korteste Linier. Havde vi sat Mærker i lige lange Afstande paa dem, medens Pladen var udspilet, vil Afstandene mellem Mærkerne nu blive ulige lange, og hvis bevægede Legemer fremdeles gennemløber Stykkerne mellem to Mærker i samme Tid, bliver Bevægelsen nu ujævn. Dersom Maalestokke paa hvert Sted af Pladen trak sig sammen i samme Forhold som denne, vilde de nu blive ulige lange paa forskellige Steder, og for at faa de euklidiske geometriske

Regler ud ved Maalinger, maatte man regne med disse Forandringer af Maalestokken og indføre Rettelser for dem. Da imidlertid baade disse Forandringer og frit bevægede Legemers Afvigelser fra den rette Linie og jævne Bevægelse er lovmæssigt bestemt ved Klodernes Masse og Afstandene fra dem, vil imidlertid alt dette blot sige, at vi paa Grundlag af de euklidiske Regler behandler Klodernes Indflydelse paa de fysiske Forhold paa samme Maade som Indflydelsen f. Eks. af hede Legemer, der opvarmer deres Omgivelser. Einstein giver derimod Klodernes Indflydelse en Særstilling, idet han afpasser de geometriske Regler efter den. Dette er i og for sig kun en matematisk Omformning af Problemets Behandling, og den kan ikke tvinge os til en Ændring af vor Rum- og Tidsopfattelse. Men det har vist sig at være en overordentlig frugtbar Omformning, da den har hjulpet Einstein til Udfinding af Love, der kan gøre Rede for de fineste Enkeltheder i den fysiske Virksomhed i Klodernes Felter. Tilmed har han som nævnt fundet et overordentlig simpelt Udtryk for Bevægelsesloven, medens den, naar man holder sig til det euklidiske Grundlag i hvert Fald vil antage mere sammensatte Former. Det maa dog ikke overses, at Einstein for at naa til det simple Udtryk for Loven har maattet opbygge en meget indviklet matematisk Bygning eller, om man vil, indføre en meget sammensat Geometri for „den firdimensionale Rum-Tidsverden“.

VI. ER VERDEN ENDELIG ELLER UENDELIG?

I alt, hvad vi har omtalt i det foregaaende, syntes der ikke at være nogen virkelig Modstrid mellem Einsteins Teori og vor naturlige Rum- og Tidsopfattelse. Einstein har imidlertid opstillet en Antagelse om den hele Verdensbygning, hvorved Sagen stiller sig anderledes.

Vi vil ogsaa her bedst forstaa, hvad det drejer sig om,

ved at tænke paa vor Gummiverden. Vi gik ud fra, at den kun var „bulet“ i Klodernes Nærhed, men at den langt fra dem blev plan, eller med andre Ord, at det kun var Kloderne, der fremkaldte (tilsyneladende) Afvigelser fra den euklidiske Geometri. Vor Gummiverden kunde da have en uendelig Udstrækning, d. v. s., den havde ikke nogen af Sagens Natur følgende Grænse. Lad os nu antage, at det ikke var en plan Plade med „Buler“ om Kloderne, men derimod en uhyre Gummiballon med Smaabuler om Kloderne. Under disse Omstændigheder vilde den have en endelig, ved Radius i Kuglen bestemt Størrelse, men den vilde dog for de todimensionale Væsner, der levede paa Kuglefladen, ikke have nogen Grænser. Vi vil tænke os, at disse „Kuglefladevæsner“ overhovedet ikke havde nogen Forestilling om Retninger uden for Fladen, men kun om Retninger i den. Deres „rette Linier“ er Storcirkler paa Kuglen. Rejser de „lige ud“ efter en saadan Linie, vil de efter en Rejse af endelig Længde og Varighed naa tilbage til deres Udgangspunkt. Lysstraaler, der maa antages at holde sig til Kuglefladen og følge Storcirkler i denne (undtagen i Bulerne), vil ligeledes efter en endelig Rejse naa tilbage til Udgangspunktet.

Dersom den Del af deres Verden, som var tilgængelig for deres Iagttagelsesmidler, i alt Fald indtil disse havde naaet en høj Udvikling, var en saa lille Del af Kuglefladen, at den praktisk talt faldt sammen med en Plan, vilde Studiet af de geometriske Forhold have ført dem til alle den plane euklidiske Geometris Regler. Men naar deres Maalekunst havde naaet en højere Udvikling, vilde de gøre den overraskende Opdagelse, at den euklidiske Geometri kun gjaldt med Tilnærmelse. Idet deres Maalestokke ligesom i det hele taget deres „faste Legemer“ og alt, hvad de har med at gøre, stadig smyger sig til Kuglefladen, vilde de f. Eks. finde, at Vinkelsummen er lidt større end to Rette, at parallelle rette Linier ikke bevarer nøjagtigt samme Afstand o. s. v. Nu kunde de naturligtvis prøve paa at forklare Afvigelserne fra

de euklidiske Regler ved fysiske Aarsager, der virkede efter bestemte fysiske Love; men medens dette lader sig gøre med de grovere Afvigelser, der findes i Kloderne Nærhed, idet man indfører Kloderne som Aarsager, gaar det ikke med de Afvigelser, der hidrører fra den hele Kuglefladeverdens Krumning; thi dem finder man selv i de længste Afstande fra Kloderne, og de afhænger ikke paa nogen lovmæssig Maade af Afstanden fra dem eller noget andet iagttageligt. Fysikerne i Kuglefladeverdenen vil ikke se anden Udvej end at erkende det som en Egenskab ved deres Verden, at der for den gælder en anden Geometri end den euklidiske Plangeometri — nemlig den, som vi tredimensionale Væsner kalder den sfæriske Geometri eller Kuglefladegeometrien. Men da Kuglefladevæsnerne, efter hvad vi forudsatte, ikke kan tænke sig mere end to Dimensioner, kan de ikke se denne Geometri i det Lys, hvori vi ser den. Gennem Analogier med Smaacirkler paa Kuglefladen kan de vel finde paa at sammenligne Længden af en „ret Linie“ (en Storcirkel) fra Udgangspunktet tilbage til dette med Længden af en Cirkelomkreds, og den til denne svarende Radius (Kuglens Radius) vil de maaske betegne som „Krumningsradius“ for deres todimensionale „Rum“ (Kuglefladen), idet de betegner dette som „krumt“; men det er for dem altsammen kun Lignelser eller Analogier, da de ikke kan danne sig nogen anskuelig Forestilling om en Kugle, der er et tredimensionalt Legeme.

Det er nu disse geometrisk-fysiske Egenskaber, Einstein tænker sig overført — ikke paa den firdimensionale Rum-Tidsverden — men paa vort tredimensionale Rum. Ogsaa her skal man, selv bortset fra de enkelte Kloders Indflydelse, finde Vinkelsummen af en Trekant, dannet af rette Linier, større end to rette; ogsaa her skal man efter hans Antagelse ved at følge en ret Linie naa tilbage til Udgangspunktet efter en Vandring af endelig Længde og Varighed — rimeligvis dog selv med Lysets Hastighed først efter Millioner af Aar. Man kan ligeledes billedligt betegne denne lukkede Bane som en

Cirkelomkreds og dens Radius, d. v. s. dens Længde divideret med 2π , som Krumningsradius for vort Rum, der betegnes som „krumt“ eller „sfærisk“. Men hvis vi vil søge at danne os en anskuelig Forestilling om en saadan „Rundrejse“ og om Rummets Krumning, er vi paa Vildspor; thi det er over vor Evne at anskue en „firdimensional Kugle“ eller en „Hypersfære“, som man har kaldt *det*, der skulde svare til Kuglen for de todimensionale Væsner. Skønt den Einstein'ske Verden er endelig, kan vi hverken fremstille eller tænke os fremstillet en formindsket Model af den. Derved lægger der sig en Taage over det hele. Det er kun Skingeometri; det reelle i Einsteins Antagelse er det „aritmetiske“, formelmæssige, og den ligger ikke i Fortsættelse af den naturlige Vej, som allerede Vuggebarnet ubevidst følger under Opbygningen af et anskueligt Verdensbillede, og ad hvilken ogsaa den fysiske Forskning hidtil har gjort sine Fremskridt mod stedse klarere Erkendelse.

Vi kan ogsaa se Sagen fra en noget anden Side. Vi saa, at Kuglefladevæsnerne fandt, at en bestemt Længde spillede en særlig Rolle i deres Verden, nemlig Længden af en Rundrejse fra Udgangspunktet tilbage til dette; men de kunde ikke finde nogen Aarsag til denne, fra alle andre udmærkede Længdes Særstilling. Hvis nu nogle Fysikere blandt dem havde hævdet, at dette pegede mod Aarsager, der laa udenfor deres Verden eller mod en Verdenskonstruktion af højere Orden end deres egen, saa maa vi tredimensionale Væsner erkende, at disse Fysikere havde set rigtigt. Vi kan nemlig se, at denne særlige Længde havde den Betydning at være en Storcirkel paa deres Kugleflade, og vi havde tillige Mulighed for at erkende de Aarsager, som bandt deres Lysstråler og Legemer til Kuglefladen. Men i Lighed dermed kan vi sige, at Antagelsen af Einsteins endelige og dog ubegrænsede sfæriske Verden vilde pege mod fysiske Aarsager, der laa udenfor vor Verden, eller mod en højere, firdimensional Verdenskonstruktion.

Mange vil maaske netop føle sig tiltalt heraf, fordi de synes, at herved aabnes Mulighed for en Slags fysisk Forstaaelse af højere Væsners Indgriben i vor Verden. I Kuglefladevæsners Verden kunde vi jo — om vi vil bruge et noget groft Billede — gribe ind ved f. Eks. at stikke en Pind tværs gennem Kuglefladen; denne Pind kunde da her frembringe Virkninger, f. Eks. standse Lysstraaler, til hvilke man ikke kunde opdage nogen fysisk Aarsag i Kuglefladeverdenen. Eller vi kunde fjerne Genstande fra denne et Sted og putte dem ind et andet Sted. I Analogi hermed skulde firdimensionale Væsner kunne lade Genstande i vor tredimensionale Verden forsvinde et Sted og dukke frem et andet Sted eller frembringe andre mærkelige Virkninger. Ud fra Betragtninger af saadan Art har man forlængst sat Tanken om fire Rumdimensioner i Forbindelse med de mystiske fysiske Fænomener, hvis Eksistens mange Mennesker tror paa. Men selv bortset fra, at disse Fænomeners Realitet altid unddrager sig Kontrol i Videnskabens klare Dagslys, vilde vi ad den antydede Vej i Virkeligheden ikke naa videre i Forstaaelse af dem; det bliver ikke til andet end Ord og Lignelser, da vi netop ikke kan „forstaa“, d. v. s. forbinde nogen Forestilling med fire Rumdimensioner. Det maa i hvert Fald være Maalet for den fysiske Forskning saa vidt muligt at forklare de fysiske Fænomener i vor Verden med det, der kan iagttages i den. En anden Sag er det, at allerede fordi Bevidsthedslivet falder uden for Fysikkens Omraade, er denne Opgave begrænset til en Side af Tilværelsen, nemlig den materielle, og selv her kan den ikke udtømme Problemerne. Den staar saaledes magtesløs overfor den store Gaade, som Sammenspillet mellem det sjælelige og det legemlige rummer — en Gaade, som bl. a. træder frem saavel i Menneskets Værker, hvor det fysiske er præget af vor Tanke og Vilje, som i den vidunderlige Forening af Atomer og Molekyler til ordnet Samvirken, vi finder hos de levende Væsner. Men til denne Gaades Løsning kan Antagelsen af fire Dimensioner ikke bidrage.

Det er da heller slet ikke Forhold af den her antydede Art, Einstein har taget Sigte paa med sin Antagelse om en sfærisk Verden. Denne Antagelse, der næppe kan siges at udgøre en nødvendig Bestanddel af hans Lære, skulde bl. a. give denne en vis matematisk Afsluttethed. Om Kravet om en saadan Afsluttethed er fysisk berettiget, kan imidlertid være Tvivl underkastet.

Derved, at Universet efter hans Antagelse er endeligt, hjælper den os imidlertid over en alvorlig Vanskelighed, som vi kan betegne som *det fysiske Uendelighedsproblem*, og som allerede var til Stede i den Newton'ske Fysik.

Tænker vi os et uendeligt Verdensrum overalt befolket med Kloder af endelig Størrelse saaledes, at der, hvor fjerne Rumegne vi end betragter, i en tilstrækkelig stor, men endelig Rumegn findes et endeligt Antal Kloder, saa vil enhver Klode, f. Eks. Jorden eller Solen, være Genstand for en uendelig stor Tiltrækning fra alle Sider; men herved vilde den paa hver Klode i en vis Retning virkende Kraft blive ubestemt. Naar alle Kloder var lysende, vilde deres samlede Lys desuden gøre Himmelhvælvingen til et eneste Lyshav.

Man kunde naturligvis undgaa denne Konsekvens ved at antage, at Rummet blev tyndere og tyndere „befolket“, jo længere vi gik bort fra de Rumegne, hvor vi lever, og at Rummet var klodefrit i tilstrækkelig store Afstande fra dem. Men herved vilde vi i Virkeligheden opgive Tanken om den fysiske Verdens Uendelighed og i Stedet tænke os Stjerneverdenen som en Stofø i et uendeligt Rum; Verden kunde da betegnes som en endelig Midtpunktsverden, om end af anden Art end den græske. Man kunde dog holde fast ved Forestillingen om et uendeligt Univers befolket med Kloder overalt, naar man tænkte sig, at Lyset paa sin Vej gennem Rummet led en Svækkelse, idet det standsedes og indsugedes af smaa mørke Stofpartikler el. a., og at Tiltrækningskraften led en Svækkelse af lignende Art, hvilket imidlertid var en ret vilkaarlig og lidet sandsynlig Hypotese.

Naar vi indfører Forestillingen om det for alle fysiske Processer bestemmende Neutralfelt, bliver Vanskelighederne endnu større. En uendelig Stjerneverden vilde nemlig frembringe et uendelig stærkt Felt overalt, hvad der vilde medføre saadanne urimelige Konsekvenser som, at Legemernes Masser var uendelig store, Lyshastigheden Nul o. lgn.

En Mulighed for Udvidelse af vort Verdensbillede mod det uendelige finder vi imidlertid, naar vi tager vort Udgangspunkt i den Ordning af Stoffet i Systemer af voksende Størrelsesorden, vi forefinder som en Kendsgerning, saa langt vore med Nutidens fuldkomneste Hjælpemidler skærpede Øjne rækker. Vi ved, at Atomerne i det væsentlige er samlede i Kloder som Planeterne, Solen o. a. Disse Kloder danner Solsystemer, som er samlede i Stjernehoer, hvilke atter — maaske med Stjernesystemer af mellemliggende Størrelsesorden som Mellemed — danner Mælkevejssystemet. Vi har Grund til at anse visse Spiraltaager, der bl. a. udmærker sig ved større Hastighed end de for Mælkevejssystemets Stjerner gennemsnitlige, for Stjernesystemer af lignende Art som vort Mælkevejssystem. Længere end til disse Systemer rækker vore Iagttagelser ikke; men det finder sin tilstrækkelige Forklaring i Begrænsningen af vore Iagttagelsesmidler, og vi har ingen Grund til at søge Forklaringen i en Verdensbegrænsning. Det er tværtimod en nærliggende og sandsynlig Antagelse, at der findes et stort Antal saadanne Systemer, som tilsammen danner et endeligt System af højere Størrelsesorden, og at disse Kæmpesystemer atter danner et endeligt System af endnu højere Størrelsesorden. Naar vi tænker os Stoffet i Verdensrummet samlet i Systemer af i det uendelige voksende Størrelsesorden — og tillige med i det uendelige voksende indbyrdes Afstande, følger vor Tanke da kun den af vore Iagttagelser angivne Linie stedse videre i samme Retning i Stedet for paa indskrænket Vis at standse paa et ganske tilfældigt af vor begrænsede Iagttagelseevne bestemt Punkt.

Naar nu blot Systemernes indbyrdes Afstand tiltager til-

strækkelig stærkt med den voksende Størrelsesorden og bliver uendelig stor samtidig med Systemerne, behøver Antagelsen af en uendelig Verden ikke at føre til de tidligere omtalte urimelige Konsekvenser angaaende Stjerneverdenens samlede Lysvirkning og den Newton'ske Tiltræknings Uendelighed og Ubestemthed; i alt Fald for Lysvirkningens Vedkommende er dette forlængst erkendt. Heller ikke behøver Neutralfeltet paa noget Punkt at naa en uendelig Intensitet. Til Dannelsen af Neutralfeltet i vore Egne bidrager utvivlsomt ikke blot vort Mælkevejssystem, men Systemer af langt højere Størrelsesorden — kun derved lader den forsvindende ringe Indflydelse af Solsystemets Kloder sig forklare — men vi kan dog nøjes med at medregne en endelig Del af det fysiske Verdensalt til „vor feltdannende Verden“, idet de fjernere Dele af Universet, selv om dette fortsætter sig helt ud i Uendeligheden, tilsammen kun yder et forsvindende Bidrag til Feltets Styrke og derfor kun har en forsvindende ringe Indflydelse paa de fysiske Processer i vore Rumegne. I denne Forstand er vor fysiske Verden endelig, skønt den kun er en uendelig lille Del af det hele Univers.

Denne Opfattelse af Verdensaltets Bygning staar i den fuldkomneste Harmoni med den relativistiske Fysik — Neutralfelthypotesen — som er antydnet i det foregaaende. Vi har efter denne Opfattelse fuld Symmetri i hele Universet. I dets fjerneste Egne findes der mægtige Stjernesystemer af samme Art som dem, vi kender, men med andre „feltdannende Verden“ end vor. Det Koordinatsystem, hvortil vi skal henføre Jordens Rotation og alle andre Bevægelser i vore Rumegne, er bestemt ved vor feltdannende Verden; men i fjerne Rumegne bestemmes de fysiske Henførelsessystemer ved andre Klodesystemer, og de kan bevæge sig paa enhver Maade i Forhold til vort. Rotation og al anden Bevægelse bliver saaledes at opfatte fuldt relativt. Lysets Hastighed antager i de uhyre Rum mellem de store Systemer, hvor Feltintensiteten er ringe, en Hastighed, mod hvilken de 300 000 Kilometer i

Sekundet i vore Egne er Sneglefart. Og saaledes relative-res alt.

Det bør fremhæves, at man meget vel kan slutte sig til denne Opfattelse uden derfor at fastslaa, at det fysiske Univers virkelig *er* uendeligt. Hvad det kommer an paa, er blot, om man ved at tænke sig Universet opbygget paa denne Maade kan gøre Rede for Fænomenerne og i Tanken gaa saa langt ud i det fjerne, som det skal være, uden at standses i nogen endelig Afstand og tvinges til at indføre nye Antagelser.

For en fysisk Betragtning synes den her fremsatte Antagelse om Verdens Opbygning af Systemer af voksende Størrelsesorden langt mere tiltalende end den Einstein'ske Antagelse om en endelig sfærisk Verden. Der synes heller ikke at være nogen nødvendig Modstrid mellem Systemhypotesen og den væsentlige Del af Einsteins Relativitetsteori; men dette maa dog endnu anses for et aabent Spørgsmaal. I det hele taget hviler der endnu megen Uklarhed over Forholdet mellem Teorien og det fysiske Relativitetskrav (smlg. S. 54). Einstein har selv i visse Betragtninger sluttet sig til den Opfattelse, at fjerne Kloder er bestemmende for den fysiske Virksomhed i vore Rumegne, og Forestillingen om det af samtlige Kloders Neutralfelter sammensatte Verdensfelt kunde derfor synes at falde naturligt i Traad med Einsteins Lære; men under den videre Udvikling af Teorien traadte dette Synspunkt dog mere i Baggrunden. Det kunde endog tænkes, at man under Forsøg paa at give Einsteins Teori et mindre abstrakt matematisk Præg og knytte den nøjere til det fysiske Relativitetskrav blev ført tilbage til en Æterteori mere i Slægt med den tidligere end Neutralfeltslæren. Det kunde nemlig tænkes, at det Felt, der er bestemmende for den fysiske Virksomhed i Rummet ikke i Hovedsagen er bestemt ved Kloder og Klodesystemer, men ved mere jævnt fordelt Stof eller Energi i Verdensrummet.

I det hele taget har Einsteins Teori, hvor vidtspændende den end er, og hvor stor Beundring vi end skylder dens Op-

havsmand, langt fra kastet et saadant Lys over Verdensmekanismen, at dennes Bygning og Love nu ligger klart i Dagen. Ikke blot stiller Teorien Fysikerne overfor talrige nye Enkeltheder, idet den skal anvendes paa forskellige Felter; den vækker tillige mange omfattende og dybtgaaende Problemer til Live eller tilskynder, netop fordi den stiller dem i nyt Lys, til nye Overvejelser over dem. Vi mindes om Forholdene den Gang, da Newton gennem sin mægtige Virksomhed havde draget Sløret bort fra saa mange af Naturens Hemmeligheder. Ogsaa hans Værk blev af hans Samtid hilst med stor og berettiget Begejstring, en Begejstring, der fik sit stærkeste Udtryk i Digteren Popes stolte Mindevers:

Før laa Naturens Love skjult i Mørkets Favn.
Men alt blev Lys, da Herren raabte Newtons Navn.

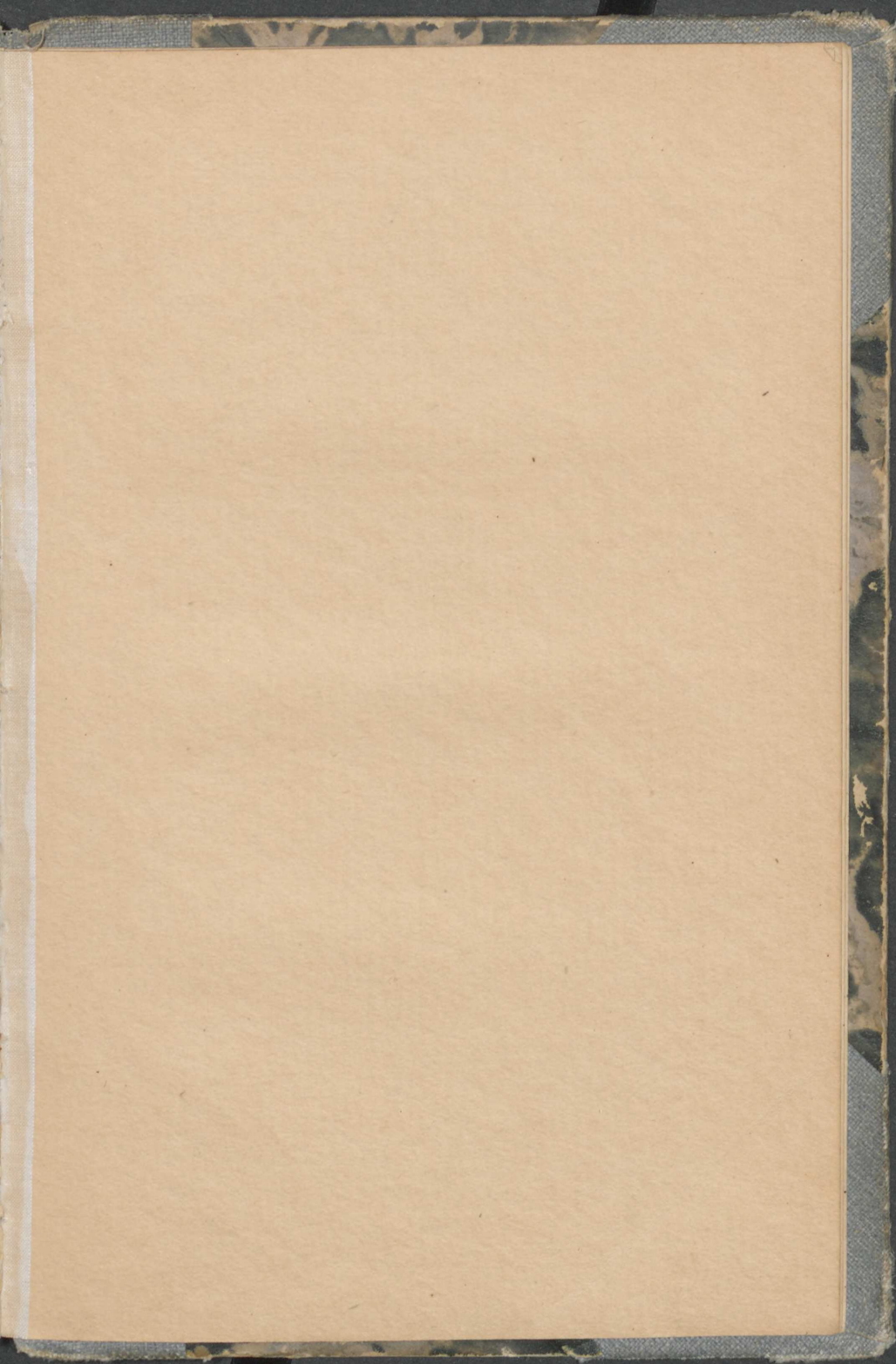
Men Newton selv betegnede sit Arbejde i de skønne, beskudne Forskerord: „Hvad Menneskene tænker om mig, ved jeg ikke, men selv synes jeg, at jeg har været som et Barn, der under sin Leg ved Stranden fandt snart en glattere Sten, snart en sjældnere Muslingeskal, end det lykkedes andre, medens Sandhedens uendelige Hav laa udforsket foran det.“ Trods alt, hvad der er opdaget i de forløbne to Aarhundreder, blandt andet ved Einstein og andre i den mærkelige Stortid, de sidste Aartier har været, ligger der fremdeles et vidtstrakt udforsket Hav for den fysiske Forskning.

LITTERATURHENVISNING

Der er, særlig i Tyskland, fremkommet en omfattende Litteratur om Einsteins Lære. Her kan, foruden Einsteins S. 64 omtalte Bog, af nogenlunde letfattelige tyske Fremstillinger nævnes *Emil Cohn: Physikalisches über Raum und Zeit* og *Hans Witte: Raum und Zeit im Lichte der neueren Physik*, der dog ingenlunde er uangribelige i erkendelsesteoretisk Henseende. Vanskeligere tilgængelig, men dog uden matematiske Detailler er *E. Freundlich: Die Grundlagen der Einstein'schen Gravitationstheorie*.

En levende og fængslende Fremstilling af Relativitetsteoriens Forhold til vor Rum- og Tidsopfattelse, væsentlig set i Einsteins Lys, har den engelske Astronom *Eddington* givet i et Foredrag i „Royal Institution“. Det er gengivet i det engelske Tidsskrift „*Nature*“ CI 1918 og findes oversat til Dansk i „*Nordisk Astronomisk Tidsskrift*“ Nr. 1 1920 under Titlen *Tyngdekraften og Relativitetsprincippet*.

Endvidere kan henvises til Artikler i „*Fysisk Tidsskrift*“ af *H. M. Hansen* (10. Aarg. 1912 og 18. Aarg. 1920), *Ehrenfest* (12. Aarg.), *K. Kroman* (14. og 15. Aarg.) og *Helge Holst* (18. Aarg.) samt en Artikel af *H. M. Hansen* i „*Ingeniøren*“ 1920.



GYLDENDALSKE
BOGHANDEL



GYLDENDALS FORLAGSTRYKKERI
KJØBENHAVN

